

# Penggunaan Biochar di Lahan Kering

*by* Widowati .

---

**Submission date:** 31-May-2020 10:16AM (UTC+0300)

**Submission ID:** 1335035469

**File name:** Widowati\_Penggunaan\_Biochar\_edisi\_revisi.docx (501.85K)

**Word count:** 61830

**Character count:** 346699

**PENGUNAAN BIOCHAR DI LAHAN KERING**

**WIDOWATI  
SUTOYO  
HIDAYATI KARAMINA**

**UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADEWI  
MALANG  
2020**

## PENGANTAR

22

Indonesia adalah salah satu negara pengekspor arang terbesar di dunia selain China, Malaysia, Afrika Selatan, Argentina, dan Arab Saudi. Produksi arang kualitas ekspor di Indonesia pada umumnya diperoleh dari usaha kecil dan menengah (UMKM) dengan teknik dan proses yang beragam sehingga mutu arang bervariasi. Tak ada yang tak mengenal arang, karena keberadaannya di muka bumi ini sudah ada sejak ribuan tahun silam, walaupun awal penggunaannya masih ditujukan untuk keperluan rumah tangga seperti memasak dan memanggang makanan.

Masyarakat umum mengenal kayu sebagai bahan baku arang. Padahal selain kayu masih banyak bahan yang tersedia di sekitar kita yang dijadikan bahan baku, seperti limbah pertanian, peternakan, kehutanan, dll. Biomasa yang dijadikan biochar atau yang lebih dikenal dengan sebutan arang memiliki banyak manfaat, diantaranya sebagai bahan obat-obatan, kosmetik, peralatan mandi, bahan kain asal serat arang, filter rokok, kesuburan lahan, dll.

Biochar telah digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman. Hasil penelitian di bidang pertanian telah membuktikan peran biochar yang menguntungkan bagi tanah yang tidak produktif akibat degradasi tanah. Buku referensi "Penggunaan Biochar di Lahan Kering" menyajikan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan baik di Indonesia maupun luar negeri. Buku ini lebih banyak menjelaskan permasalahan tentang ketidakseimbangan unsur hara N, P, K, dan kesuburan tanah di lahan kering, sekaligus strategi penyelesaiannya. Menurut pendapat Prof. Dr. Ir. Wani Hadi Utomo selaku pendiri Asosiasi Biochar Indonesia, buku ini menyajikan banyak informasi dari hasil penelitian yang bermanfaat untuk dasar pengelolaan lahan kering dengan memanfaatkan biochar yang dicampur pupuk organik maupun anorganik.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi hingga diterbitkannya buku ini. Semoga apa yang disajikan dalam buku ini dapat memberi manfaat kepada semua pihak yang berkepentingan.

## PRAKATA

107

Penulis memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya buku yang berjudul: "Penggunaan Biochar Pada Lahan Kering". Buku ini disusun dari hasil penelitian yang dilakukan penulis dan dari beberapa referensi terkait, sehingga menjadi sebuah buku referensi. Buku ini menjelaskan 2 (dua) permasalahan di bidang pertanian khususnya tentang ketidakseimbangan penggunaan pupuk N, P, K dan kesuburan tanah di lahan kering. Strategi yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut telah dilakukan dalam bentuk penelitian yang mengkaji penggunaan biochar dan perimbangan pupuk N, P, K pada tanaman jagung.

Demikian juga kajian tentang penggunaan biochar dan pupuk organik pada 3 (tiga) jenis tanah yang diambil dari lahan kering. Penulis telah melakukan penelitian sebagai ketua peneliti tentang biochar sejak 2010 – 2019 dengan sumber dana dari Kemenristek-Dikti, diantaranya Penelitian Hibah Doktor 2010, Penelitian Hibah Bersaing 2012-2013, Penelitian Strategis Nasional 2014-2016, Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi 2017, Penelitian Terapan Perguruan Tinggi 2018-2019. Penelitian dengan pendanaan dari PT Gudang Garam, Tbk pada tahun 2017-2018. Hasil penelitian dalam bentuk karya ilmiah telah dipublikasi dalam prosiding dan jurnal ilmiah maupun karya teknologi dalam bentuk paten, 2 (dua) telah mendapat sertifikat dan 1 (satu) karya paten masih dengan nomor pendaftaran.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Kemenristek-Dikti, PT Gudang Garam, Tbk, PT BISI Internasional, Tbk yang telah membantu penulis melakukan penelitian tentang biochar dan pupuk organik pada beberapa jenis tanah di lahan kering. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk mendapatkan gambaran tentang aplikasi biochar bagi kesuburan tanah dan perimbangan pupuk anorganik.

Demi sempurnanya buku ini, penulis bersedia menerima kritik dan saran yang membangun. Semoga buku ini bermanfaat!

Malang, Mei 2020  
Tim Penulis



## DAFTAR ISI

PENGANTAR .....	i
PRAKATA .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	viii
BAB I.PENDAHULUAN.....	1
BAB II.PENGUNAAN PUPUK N, P, K, DAN BIOCHAR DI LAHAN KERING .....	4
2.1.Penggunaan Pupuk Nitrogen, Fosfor, Dan Kalium .....	4
2.1.1.Pupuk Nitrogen .....	4
2.1.2.Pupuk Fosfor.....	10
2.1.3.Pupuk Kalium.....	16
2.2.Biochar .....	21
2.2.1.Biomassa Sebagai Bahan Baku Biochar .....	21
2.2.2.Karakteristik Biochar .....	28
2.2.3.Biochar Sebagai Habitat Bagi Mikroorganisme Tanah.....	42
2.2.4.Kandungan Unsur Hara Biochar .....	48
2.3.Lahan Kering .....	57
2.3.1.Litosol.....	63
2.3.2.Mediterranean .....	64
2.3.3.Regosol.....	65
BAB III.PERMASALAHAN KETIDAKSEIMBANGAN UNSUR HARA N, P, K DAN KESUBURAN TANAH PADA LAHAN KERING DAN STRATEGI PENYELESAIAN .....	67
3.1.Permasalahan Ketidakseimbangan Unsur Hara N, P, K Pada Lahan Kering Terdegradasi Dan Strategi Penyelesaian .....	67
3.1.1.Latar Belakang.....	67
3.1.2 Strategi Penyelesaian .....	70
3.2.Permasalahan Kesuburan Tanah Di Lahan Kering Dan Strategi Penyelesaian .....	72
3.2.1. Latar Belakang .....	72
3.2.2. Strategi Penyelesaian .....	75
BAB IV.PENGUNAAN BIOCHAR DAN PERIMBANGAN PUPUK N, P, K UNTUK MEINGKATKAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN JAGUNG DI LAHAN KERING .....	78

18	4.1. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk N, P, K Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung.....	78
	4.2. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk N, P, K Terhadap Komponen Hasil Dan Hasil Tanaman Jagung.....	85
	4.3. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk N, P, K Terhadap Serapan Hara N, P, K Pada Tanaman Jagung.....	90
47	4.4. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk N, P, K Terhadap Ketersediaan Unsur Hara Dalam Tanah .....	93
	BAB V. PEMBERIAN BIOCHAR UNTUK MENINGKATKAN KESUBURAN TANAH..	98
	5.1. Pengaruh Biochar Pada Sifat Fisik Tanah.....	98
	5.2. Pengaruh Biochar Pada Sifat Kimia Tanah .....	109
	BAB VI. PENUTUP .....	162
	DAFTAR REFERENSI .....	165
	INDEKS .....	183
	GLOSARIUM .....	184

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Biochar, Biomassa, Dan Pupuk Organik .....	34
Tabel 2. Karakteristik Tanah Sebelum Pemberian Biochar Dan Pupuk Organik (Kondisi Awal) .....	66
Tabel 3. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk Npk Terhadap Tinggi Tanaman Pada 30 Hst.....	79
Tabel 4. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk Npk Terhadap Tinggi Tanaman Pada 60 Hst.....	80
Tabel 5. Pengaruh Biochar Terhadap Diameter Batang, Indeks Luas Daun, Berat Kering Akar .....	81
Tabel 6. Pengaruh Perimbangan Pupuk Terhadap Diameter Batang, Indeks Luas Daun, Dan Berat Kering Biomassa .....	84
Tabel 7. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk NPK Terhadap Indeks Luas Daun Dan Berat Kering Biomassa Pada 60 hst .....	84
Tabel 8. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk NPK Terhadap Berat Akar Kering .....	85
Tabel 9. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk NPK Terhadap Panjang Tongkol.....	87
Tabel 10. Pengaruh Biochar Terhadap Berat Kering Jagung Tanpa Klobot Dan 100 Butir Jagung .....	87
Tabel 11. Pengaruh Perimbangan Pupuk Terhadap Diameter Tongkol Dan Berat Kering Tongkol.....	88
Tabel 12. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk NPK Terhadap Hasil Jagung Pipilan Kering .....	89
Tabel 13. Serapan N Dari Pemberian Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk NPK	91
Tabel 14. Serapan P Dari Pemberian Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk NPK	92
Tabel 15. Serapan K Dari Pemberian Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk NPK	92
Tabel 16. Ketersediaan Unsur Hara Di Dalam Tanah Setelah Inkubasi .....	93
Tabel 17. Level Signifikan Pengaruh Jenis Biochar Dan Perimbangan Pupuk Terhadap Unsur Hara Di Dalam Tanah .....	94
Tabel 18. Pengaruh Jenis Biochar Terhadap N Total Dan Nitrat Pada 60 Hst Jagung .....	94
Tabel 19. Interaksi Perimbangan Pupuk Dan Jenis Biochar Pada Kandungan P Total Dalam Tanah Umur 60 Hst Jagung.....	96

Tabel 20. Interaksi Perimbangan Pupuk Dan Jenis Biochar Pada Kandungan K Tersedia Dalam Tanah Umur 60 Hst Jagung .....	97
Tabel 21. Interaksi Perimbangan Pupuk Dan Jenis Biochar Pada Kandungan K Total Dalam Tanah Umur 60 Hst Jagung .....	97
Tabel 22. Bobot Isi Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah.....	103
Tabel 23. Bobot Partikel Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah .....	103
Tabel 24. Porositas Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah.....	104
Tabel 25. Persentase Pori Makro Pada Masing-Masing Jenis Tanah .....	106
Tabel 26. Persentase Pori Meso Pada Masing-Masing Jenis Tanah .....	107
Tabel 27. Persentase Pori Mikro Pada Masing-Masing Jenis Tanah.....	108
Tabel 28. Bahan Organik Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah Setelah Inkubasi Hari Ke-7 .....	117
Tabel 29. Bahan Organik Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah Setelah Inkubasi Hari Ke-14 .....	118
Tabel 30. Bahan Organik Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah Setelah Inkubasi Hari Ke-28 .....	118
Tabel 31. Bahan Organik Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah Setelah Inkubasi Hari Ke-56 .....	120
Tabel 32. Bahan Organik Tanah Pada Masing-Masing Jenis Tanah Setelah Inkubasi Hari Ke-98 .....	121
Tabel 33. KTK Masing-Masing Jenis Tanah Pada Hari Ke-7 .....	123
Tabel 34. KTK Masing-Masing Jenis Tanah Pada Hari Ke-14.....	123
Tabel 35. KTK Masing-Masing Jenis Tanah Pada Hari Ke-28.....	124
Tabel 36. KTK Masing-Masing Jenis Tanah Pada Hari Ke-56.....	125
Tabel 37. Hasil Uji Dmrt Pada Masing-Masing Jenis Tanah Pada Hari Ke-98 .....	126
Tabel 38. pH Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7.....	127
Tabel 39. pH Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14.....	128
Tabel 40. pH Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28.....	129
Tabel 41. pH Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56.....	129
Tabel 42. pH Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-98.....	130
Tabel 43. Kejenuhan Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7.....	131
Tabel 44. Kejenuhan Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14 .....	132
Tabel 45. Kejenuhan Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28 .....	132
Tabel 46. Kejenuhan Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56 .....	133
Tabel 47. Kejenuhan Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi	

Hari Ke-98 .....	134
Tabel 48. Kation Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7 .....	135
Tabel 49. Kation Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14 .....	136
Tabel 50. Kation Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28 .....	136
Tabel 51. Kation Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56 .....	137
Tabel 52. Kation Basa Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-98 .....	139
Tabel 53. Kadar N Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7 .....	139
Tabel 54. Kadar N Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14 .....	140
Tabel 55. Kadar N Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28 .....	141
Tabel 56. Kadar N Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56 .....	142
Tabel 57. Kadar N Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-98 .....	142
Tabel 58. Kadar P Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7 .....	144
Tabel 59. Kadar P Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14 .....	145
Tabel 60. Kadar P Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28 .....	145
Tabel 61. Kadar P Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56 .....	146
Tabel 62. Kadar P Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-98 .....	147
Tabel 63. Kadar K Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7 .....	148
Tabel 64. Kadar K Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14 .....	149
Tabel 65. Kadar K Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28 .....	150
Tabel 66. Kadar K Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56 .....	150
Tabel 67. Kadar K Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-98 .....	151
Tabel 68. Kadar Ca Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7 .....	152
Tabel 69. Kadar Ca Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14 .....	153
Tabel 70. Kadar Ca Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28 .....	154
Tabel 71. Kadar Ca Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56 .....	155
Tabel 72. Kadar Ca Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-98 .....	156
Tabel 73. Kadar Mg Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-7 .....	157
Tabel 74. Kadar Mg Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-14 .....	158
Tabel 75. Kadar Mg Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-28 .....	159
Tabel 76. Kadar Mg Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-56 .....	160
Tabel 77. Kadar Mg Masing-Masing Jenis Tanah Pada Inkubasi Hari Ke-98 .....	161

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Menunjukkan Hubungan Antara Sifat Biochar (Lingkaran Luar), Tanah (Lingkaran Menengah) Dan Sebuah Biota Tanah (Lingkaran Dalam) (Dari Lehman Et Al., 2011) .....	44
--	----



## BAB I. PENDAHULUAN

Lahan kering sangat potensial dikembangkan mengingat luasan lahan subur terbatas, ketersediaan dan penggunaan lahan pertanian berkurang, dan ketidakmungkinan perluasan areal baru untuk lahan pertanian. Satari (1977) menyatakan lahan kering adalah lahan yang dalam keadaan alamiahnya sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada di bawah kapasitas lapang. Sebagai contoh adalah Kabupaten Malang memiliki wilayah seluas 324.423 ha dan terletak pada urutan luas terbesar kedua setelah Kabupaten Banyuwangi dari 38 kabupaten/kota di wilayah Propinsi Jawa Timur. Berdasarkan data dari Kementrian Pertanian tahun 2013, luas lahan sub optimal di Indonesia yang sesuai untuk lahan pertanian mencapai 91,9 juta ha. Lahan terluas adalah lahan kering masam seluas 62,6 juta ha (68,1%), lahan pasang surut seluas 9,3 juta ha (10,1%), lahan kering iklim kering seluas 7,8 juta ha (8,2%), lahan gambut seluas 4,7 juta ha (5,1%). Di Jawa Timur, luas lahan ladang/huma dan tegal/kebun pada tahun 2012 mencapai 1.167.572 ha, khusus di Kabupaten Malang mencapai 104.512 ha (9%).

Proses pembentukan dan perkembangan tanah dipengaruhi bahan induk, topografi, iklim, organisme, dan waktu (Hanafiah, 2005). Kelima faktor pembentuk tanah akan menghasilkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda sehingga menjadi bagian penting dalam upaya mengelola tanah. Kendala internal lahan kering berkaitan dengan bahan induk tanah yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah dan faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas rendah. Informasi dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jatim (2013), bahwa produksi jagung seluas 218 ha sebesar 936,65 ton (4.3 ton/ha) dan produktivitas 42,97 (kg/ha).

Masalah yang sering kali muncul pada lahan kering adalah kapasitas menahan air dan ketersediaan air yang rendah sehingga menyebabkan cekaman kekeringan, peka terhadap erosi, mempunyai top soil yang tipis, bahan organik rendah sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi dan kapasitas tukar kation rendah dan unsur hara mudah tercuci, miskin unsur hara N, P, K, Ca, Mg sehingga memerlukan pemupukan anorganik dengan dosis tinggi. Pemupukan anorganik yang ditambahkan seringkali menggunakan dosis yang sesuai anjuran. Padahal dosis rekomendasi pemupukan biasanya dalam kondisi kesuburan tanah yang baik. Umumnya pemupukan yang seimbang pada suatu jenis tanah akan berbeda pada suatu jenis tanah yang lain. Kesuburan tanah sangat mempengaruhi pemupukan yang seimbang di suatu wilayah.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas lahan

kering, diantaranya penataan lahan, pengelolaan air, pengelolaan tanaman, menggunakan bentuk- bentuk pola tanam, sistem pertanian konservasi tanah, pengelolaan bahan pembenah tanah, pengelolaan pemupukan organik, dan pengendalian gulma. Beberapa hasil penelitian tentang penggunaan bahan pembenah tanah untuk merehabilitasi lahan kering terdegradasi telah dilakukan, seperti zeolit (Sutono dan Agus, 1998), pupuk kandang (Abdurahman *et al.*, 2000), biomassa flemingia dan sisa tanaman (Nurida, 2006), dan biomassa tumbuhan dominan di lahan kering. Beberapa penelitian yang menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah, diantaranya pada lahan kering masam terdegradasi Taman Bogo Lampung (Nurida *et al.*, 2012), pada tanah sulfat masam di Kalimantan (Masulili *et al.*, 2010), tanah lempung berpasir di Lombok Utara (Sukartomo *et al.*, 2011 dan Suwardji *et al.*, 2012), dan lahan kering dari wilayah berkapur Malang Selatan (Tambunan *et al.*, 2014), dan tanah yang sedang terdegradasi (Widowati *et al.*, 2014).

Hasil-hasil penelitian tentang penggunaan biochar telah membuktikan bahwa biochar merupakan bahan amandemen tanah yang sangat prospektif (Wolf, 2008). Disamping dapat memperbaiki sifat tanah, penggunaan biochar pada tanah tropika dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah dalam jangka panjang (Glaser *et al.*, 2002; Rondon *et al.*, 2007; Steiner *et al.*, 2008), meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Chan *et al.*, 2007), memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas penyimpanan air tanah dan menurunkan kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007), memegang air pada tanah bertekstur pasir (Sutono *et al.*, 2012). Steiner *et al.* (2008) dan Widowati *et al.* (2012) melaporkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan efisiensi pemupukan N, pemupukan NPK pada tanah *typic Dystrudepts* (Sudjana, 2014), meningkatkan retensi air dan kapasitas menyimpan air tanah (Santi dan Goenadi, 2012). Penggunaan biochar dapat meningkatkan retensi air dan hara sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik di lahan kering beriklim kering di NTT. Biochar ranting pohon legum dosis 10 t ha<sup>-1</sup> dapat meningkatkan pori aerasi dari 16,7% vol menjadi 23,23% - 28,23% vol, pori air tersedia tanah (sangat rendah) dari 2,73% menjadi 4,62% (sangat rendah) dan 5,45% vol (rendah) (Nurida *et al.*, 2009). Khususnya wilayah lahan kering berkapur Malang Selatan, Tambunan *et al.* (2014) menyebutkan biochar serasah jagung 20 t/ha ditambah serasah jagung 40 t/ha dapat meningkatkan P tersedia (242,95%) dan KTK (10,40%) tetapi aplikasi biochar serasah jagung 20 t ha<sup>-1</sup> dapat menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%) pada tanaman jagung.

Sampai saat ini pemanfaatan lahan kering belum optimal terutama untuk lahan yang telah diusahakan apalagi untuk lahan yang belum dimanfaatkan. Oleh



karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering dengan menggunakan bahan organik. Bahan organik sebagai bahan pembenah tanah maupun sumber unsur hara memiliki sifat dan ciri yang berbeda, termasuk sifat stabil (biochar) dan labil (pupuk organik). Biochar adalah produk dari dekomposisi termal biomassa yang dihasilkan oleh sebuah proses yang disebut pirolisis. Menurut Srinivasarao *et al.* (2013) konversi biomassa sisa tanaman menjadi biochar dan menggunakan char sebagai amandemen tanah adalah pendekatan baru dan disarankan sebagai alternatif untuk kompos dan pembakaran sisa tanaman. Gugus-gugus fungsional bahan organik mampu mengikat air karena agregasi tanah yang lebih baik dalam membentuk pori-pori. Asai *et al.* (2009) melaporkan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air dipori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan unsur hara lebih baik. Peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air bahan biochar (Ammu *et al.*, 2015). Porositas tinggi juga mengakibatkan KTK tinggi dari bahan biochar. Kenaikan luas permukaan memberikan adsorpsi yang lebih besar dan ruang untuk retensi air dan unsur hara (Lehmann *et al.*, 2003).

Perubahan dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Penelitian karakterisasi dari jenis biochar pada berbagai jenis tanah terbatas jumlahnya. Oleh karena itu diperlukan kajian karakteristik jenis biochar termasuk dampak dari karakteristik biochar dan pupuk organik pada beberapa jenis tanah di lahan kering. Kombinasi bahan organik yang berbeda sifat akan bermanfaat untuk mengembangkan produk yang sesuai dengan jenis tanah sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan lahan kering.

## **BAB II. PENGGUNAAN PUPUK N, P, K, DAN BIOCHAR DI LAHAN KERING**

### **2.1. PENGGUNAAN PUPUK NITROGEN, FOSFOR, DAN KALIUM**

#### **2.1.1. PUPUK NITROGEN**

21

Nitrogen berperan sentral dalam usaha budidaya tanaman. Nitrogen merupakan hara esensial dan hara pembatas utama pada sebagian besar tanah pertanian yang ditanami tanaman-tanaman selain tanaman kacang-kacangan. Nitrogen memerlukan suatu masukan yang intensif-energi. Upaya untuk menekan kebutuhan penggunaan nitrogen karena biaya energi yang terus meningkat. Efisiensi serapan N oleh tanaman sangat diperlukan dengan mempertimbangkan dosis, sumber, waktu dan metode pemberian N.

#### **A. Menentukan Kebutuhan Nitrogen**

Prosedur untuk menentukan kebutuhan pupuk N bersandar pada prinsip keseimbangan nitogen. Terdapat pendekatan yang umumnya mempertimbangkan bahwa (i). kebutuhan pupuk N secara langsung berkaitan dengan kebutuhan N tanaman, (ii). kebutuhan pupuk secara tidak langsung berhubungan dengan efisiensi penggunaan N, dan (iii) nitrogen yang dipasok dari dalam tanah melalui proses mineralisasi dan N mineral sisa.

#### **1. Menentukan Kebutuhan Nitrogen Tanaman**

Kebutuhan tanaman akan nitrogen tidak terlepas dengan penentuan kebutuhan pupuk N. Karena tanaman pertanian sebagai konsumen N yang utama dan mengasimilasi sejumlah 30 sampai 70% dari pupuk N yang diberikan. Tanaman bukan legume memiliki variasi kebutuhan N. Pada umumnya tanaman sebagai penghasil bahan kering dalam jumlah besar akan membutuhkan lebih banyak N daripada tanaman-tanaman yang memproduksi lebih rendah. Tanaman biji-bijian kecil memerlukan lebih sedikit N daripada jagung. Oleh karena itu untuk menentukan kebutuhan nitrogen bagi tanaman sangat perlu memperhatikan produksi bahan kering yang diharapkan lebih dari suatu tanaman tertentu. Kebutuhan N tanaman diartikan sebagai konsentrasi N dalam bahan kering total di atas tanah pada hasil mendekati maksimum. Kebutuhan N internal tanaman tampaknya cukup konstan dalam suatu kisaran kondisi lingkungan dan budidaya. Oleh karenanya dapat digunakan untuk memperkirakan kebutuhan N bagi suatu produksi bahan kering total tertentu. Kebutuhan N internal telah ditaksir untuk beberapa tanaman sebagai berikut: kira-kira 12 g N/kg (1,2%) untuk jagung. Keperluan N tanaman dapat ditaksir dengan mengalikan produksi bahan kering total yang diharapkan dengan kebutuhan N

internal. Contoh pada tanaman jagung yang mengandung sekitar 50% dari bahan kering totalnya dalam biji sehingga hasil yang diharapkan sebesar 10 ton metrik/ha pada kandungan lengas 15,5% akan membutuhkan sekitar 200 kg N/ha.

## **2. Menaksir Pasokan Nitrogen dalam Tanah**

Setelah kebutuhan N tanaman telah ditaksir, pasokan N tanah harus diduga untuk menentukan jumlah tambahan pupuk N yang dibutuhkan. Pendugaan N suatu tanah dapat dilakukan apabila sistem tanah-tanaman berada pada tingkat N tanah keadaan tunak (*steadystate*), yang dalam kasus tersebut kebutuhan pupuk dapat ditaksir dari pengambilan N oleh tanaman dan efisiensi pengembalian total (Meisinger, 1984). Cadangan N tersedia dalam tanah dapat dibagi menjadi dua komponen: suatu komponen anorganik yang terutama terdiri atas  $\text{N-NO}_3^-$  sisa, dan suatu komponen organik yang termineralisasi selama-musim pertumbuhan.

### **a. Nitrogen Mineral Tersisa**

Kandungan N mineral tanah sebelumnya dianggap tidak begitu bernilai terhadap penaksiran N tersedia tanah disebabkan oleh kesulitan-kesulitan pengambilan contoh dan sifat cadangan  $\text{N-NO}_3^-$  yang bersifat sementara. Akan tetapi, banyak penelitian lapangan telah mengindikasikan bahwa cadangan N mineral tanah mempengaruhi hasil tanaman secara nyata dan harus dipertimbangkan ketika menaksir pasokan N tanah. Evaluasi  $\text{N-NO}_3^-$  secara khusus bermanfaat bila (i) masukan N sebelumnya telah melebihi kapasitas asimilasi tanaman yang disebabkan oleh penambahan pupuk buatan atau pupuk organik yang banyak, (ii) pengambilan N oleh tanaman jumlahnya rendah disebabkan oleh kekeringan, penyakit atau praktik-praktik seperti pemberaan musim panas, dan (iii) N tidak pernah tercuci di bawah zone perakaran disebabkan oleh perkolasi yang rendah, pergerakan air dalam pori besar, atau perakaran tanaman yang dalam.

Prosedur  $\text{N-NO}_3^-$  yang dianjurkan menyangkut pengambilan contoh tanah dari zone akar secara intensif dari suatu areal tanah dan riwayat pengelolaan yang serupa. Karena  $\text{N-NO}_3^-$  bersifat mobil maka hal yang esensial untuk mengambil contoh di bawah kedalaman olah dan paling diinginkan mengambil contoh dari keseluruhan zone akar.

### **b. Kandungan Nitrogen Total tanah**

Uji N total tanah ditujukan untuk menaksir mineralisasi dengan menentukan besarnya cadangan N organik. Daripada menganalisis N total secara langsung, kebanyakan laboratorium menentukan bahan organik tanah, yang mengandung sekitar 5% N dan merupakan penentuan yang lebih mudah dan lebih cepat. Karena analisis

total N, maka prosedur tidak dipengaruhi oleh penyiapan contoh ataupun waktu pengambilan contoh tanah. Kelemahan dari prosedur analisis total adalah suatu bagian dari N organik menjadi tersedia untuk tanaman selama suatu musim pertumbuhan tertentu. Bagian yang tersedia sukar ditaksir karena faktor lingkungan seperti temperatur dan kelengasan mempengaruhi jumlah mineralisasi. Demikian pula dengan penambahan bahan organik segar menyediakan suatu proporsi N cepat tersedia yang lebih besar daripada senyawa N tanah yang lebih stabil.

### **3. Menaksir Efisiensi Serapan Nitrogen**

Efisiensi penggunaan N dapat dipertimbangkan untuk menaksir kebutuhan pupuk N. Definisi pertama memberikan arti pengambilan N dalam bagian tanaman di atas tanah, yang umumnya bervariasi 40 – 60%. Pengertian yang kedua adalah pengambilan N di dalam keseluruhan sistem tanah-tanaman dan umumnya bervariasi 65 – 85%. Efisiensi pupuk adalah fungsi dari sejumlah transformasi N yang berinteraksi seperti pencucian, denitrifikasi, dan volatilisasi  $\text{NH}_3$ . Disamping itu juga beberapa variabel pengelolaan seperti sumber N, penempatan, dan waktu.

### **4. Rekomendasi untuk Penggunaan Nitrogen pada Tanaman**

Sistem rekomendasi nitrogen harus menggabungkan komponen-komponen kebutuhan N tanaman di atas, pasokan N tanah, dan penggunaan N ke dalam suatu sistem pemberian untuk N yang memasok N dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman dan dengan cara yang menghasilkan penggunaan yang tinggi oleh tanaman. Pemberian N yang berlebih harus dihindari karena akan menghasilkan dampak terhadap lingkungan dan penggunaan N yang tidak efisien.

Sistem rekomendasi N harus mengandung ciri-ciri umum berikut: (i) penggunaan suatu faktor N tanaman (suatu kombinasi dari kebutuhan N tanaman dan efisiensi), yang mempertimbangkan sasaran hasil, (ii), pemakaian sifat-sifat tanah skala luas seperti asosiasi tanah dan kelas drainase tanah, (iii) pemakaian data historis seperti N legum atau pupuk organik (iv) pemakaian kandungan N mineral tanah untuk areal-areal dengan perkolasi kecil, (v) penggunaan secara kadang-kadang faktor-faktor ekonomi seperti biaya N dalam-hubungan dengan harga jagung untuk lebih mempertepat rekomendasi N akhir dan (vi) secara umum tidak memakai suatu taksiran mineralisasi N, walaupun ada beberapa pengecualian.

Untuk pertanaman seralia yang terus-menerus, kebutuhan pupuk N umumnya didasarkan pada tujuan hasil (yaitu pengambilan N oleh tanaman) sebagaimana dimodifikasi oleh tingkat  $\text{N-NO}_3$  tanah.



## B. Tanggapan Tanaman Terhadap Nitrogen

Tujuan utama dari pemberian pupuk N pada tanaman adalah untuk meningkatkan hasil bahan kering. Pasokan N yang cukup adalah esensial untuk hasil optimum dan biasanya berkaitan dengan pertumbuhan vegetatif yang lebat, dan warna hijau gelap. Jumlah N yang berlebih biasanya akan memperpanjang periode pertumbuhan, memperlambat kematangan, dan dapat berakibat kerebahan dan kerentanan terhadap penyakit pada tanaman-tanaman tertentu. Tanaman biasanya mengambil 30 sampai 70% dari N yang diberikan, bergantung pada tanaman, tingkat hasil dan jumlah N yang diberikan. Dengan pengelolaan yang baik, efisiensi pengambilan N yang diberikan pada biji jagung sisa bagian tanaman dan di atas tanah (*stover*) berada dalam kisaran 50-70%. Banyak faktor yang mempengaruhi tanggap tanaman terhadap N. Sebagian tidak terkuasai dengan pengelolaan seperti kekeringan, penyakit tertentu, atau lengas tanah yang berlebih. Yang lain dapat dikelola dalam jangka panjang seperti rotasi tanaman, drainase tanah, dan campuran rumput-legum untuk produksi pakan. Masih ada yang lain untuk pengelolaan dalam jangka pendek seperti sumber N, takaran dan metode pemberian pupuk, dan waktu pemberian.

## Sumber-Sumber Nitrogen

Sebagian besar akar tanaman dalam tanah menyerap N sebagai  $\text{NO}_3^-$  karena bentuk itu terdapat dalam konsentrasi-konsentrasi yang lebih tinggi daripada  $\text{NH}_4^+$  dan bebas bergerak ke akar tanaman, terutama dengan aliran massa. Sebagai  $\text{NH}_4^+$  akan mempengaruhi pertumbuhan dan metabolisme tanaman sampai tingkatan yang secara umum tidak diketahui. Karena  $\text{NH}_4$  secara teori digunakan secara lebih efisien di dalam tanaman dan kurang terpengaruh oleh pencucian dan denitrifikasi, seharusnya merupakan sumber yang lebih diinginkan. Akan tetapi Hagemen (1980) menyimpulkan bahwa dari pertimbangan baik  $\text{NO}_3^-$  ataupun  $\text{NH}_4^+$  dapat berperan sebagai sumber N yang memadai untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman, tetapi pada umumnya garam-garam  $\text{NO}_3^-$  dianggap sebagai pupuk "yang lebih aman". Tanaman jagung lebih menyukai suatu campuran  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  untuk pertumbuhan maksimal. Tanaman jagung menyerap  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  pada laju yang sama jika kedua bentuk tersebut ada. Percobaan-percobaan jagung di lapangan dan rumah kaca ini menunjukkan bahwa kombinasi dari dua bentuk N ini memperbesar serapan N, pertumbuhan dan hasil. Keefektifan relatif sumber-sumber N untuk produksi tanaman akan tergantung pada cara pemberiannya, kimiawi tanah, dan rejim kelengasan dalam hubungan dengan tekstur tanah.

### Takaran Dan Metode Aplikasi

Suatu prinsip dasar yang berhubungan dengan takaran dan metode pemupukan N untuk tanggapan tanaman yang optimum adalah bahwa N ada dalam jumlah yang cukup setiap saat untuk memenuhi kebutuhan bagi pertumbuhan tanaman. N tersedia yang terlalu kecil membatasi produksi dan kualitas. N yang berlebih dapat menurunkan produksi, mengurangi kualitas, menyebabkan kerebahan, meningkatkan insidensi penyakit dan hama dan dapat menghasilkan tingkat-tingkat meracun dalam hijauan dalam kaitannya dengan konsumsi ternak. Interaksi dari pengaruh-pengaruh di atas merumitkan penaksiran takaran pemberian pupuk N yang benar. Di bawah kondisi-kondisi tertentu dan pada beberapa areal, tanah dapat memasok cukup N untuk memenuhi kebutuhan tanaman.

Dalam tahun-tahun terakhir, takaran dan metode aplikasi N untuk produksi tanaman telah berubah. Perubahan terjadi karena tingkat hasil yang lebih tinggi, meningkatnya luasan areal beririgasi untuk produksi tanaman perbaikan kultivar dan genotipe, perbaikan dalam peralatan-aplikasi dan modifikasi sistem-sistem pengelolaan seperti pertanaman tanpa olah dan pertanaman ganda.

Takaran N rata-rata untuk jagung telah meningkat secara tegas dalam 20 tahun terakhir dari sekitar 45 kg N/ha pada tahun 1960 menjadi 125 kg N/ha pada tahun 1970 dan sekitar 145 kg N/ha pada tahun 1980. Permintaan akan N ditentukan oleh laju pertumbuhan dan komposisi N dari jaringan baru. Suatu kandungan N rata-rata sebesar 1,4% berkaitan dengan hasil bahan kering biji gandum plus jerami maksimum yang dapat dicapai. Mereka menunjukkan konsistensi yang luar biasa dari nilai itu untuk beberapa varietas gandum. Nilai untuk varietas gandum ini lebih tinggi daripada yang dilaporkan sebelumnya untuk jagung di mana serapan N tiap unit bahan kering (biji dan sis bagian atas tanaman) yang berasosiasi dengan hasil maksimum yang dapat dicapai pada dasarnya adalah konstan (1,2%) untuk kisaran varietas dan kondisi pertumbuhan yang lebar. Ketika Stanford dan Hunter memproyeksikan suatu tingkat hasil biji gandum sebesar 3360 kg/ha, mereka menghitung serapan N yang diperlukan untuk mendapatkan hasil-hasil yang diproyeksikan sebesar 33 g/kg dibandingkan dengan 21 g/kg untuk jagung.

Tanaman yang berbeda bertanggapan yang berbeda terhadap N oleh karena itu, takaran yang paling menguntungkan berbeda diantara tanaman. Dengan kemungkinan pengecualian varietas-varietas baru gandum dan padi berumpun pendek, yang kurang rentan terhadap kerebahan daripada varietas-varietas lama, biji-biji yang lebih kecil menggunakan lebih sedikit N secara efisien. Sebagian ini disebabkan oleh wilayah dimana mereka ditanam, tetapi potensial genetik mereka juga ikut terlibat.

Efisiensi dalam penyerapan dan pemakaian N dalam produksi biji memerlukan beroperasinya proses-proses yang berkaitan dengan penyerapan, translokasi, asimilasi, dan redistribusi N secara efektif. Satu faktor pengelolaan yang mempengaruhi fenomena ini adalah penempatan dan/atau metode pemberian. Penelitian terdahulu telah menunjukkan pentingnya penempatan yang tepat dan pencampuran sumber-sumber amonium N dengan tanah untuk mengurangi atau mencegah penguapan  $\text{NH}_3$ . Suatu penurunan yang menyolok dalam volatilisasi amonia ketika area ditempatkan 2,5 cm di dalam tanah. Mereka juga menunjukkan penurunan tersebut menjadi lebih cepat dengan meningkatnya kedalaman dan dengan meningkatnya kelengasan tanah.

Selain mengurangi atau mencegah kehilangan N bentuk gas, penempatan yang benar diperlukan untuk membuat unsur tersebut tersedia untuk akar tanaman pada waktu yang diinginkan. Jika ditempatkan secara jalur, N harus ditempatkan pada daerah yang tepat sehingga hara dapat cepat tersedia bagi akar tanaman, namun cukup jauh untuk menghindari kerusakan bibit yang disebabkan oleh kadar garam atau taraf  $\text{NH}_3$  yang tinggi. Jika N kahat dari pupuk N ditempatkan dekat sistem perakaran, baik pertumbuhan akar maupun tanaman akan ditingkatkan karena penempatan secara jalur tersebut. Dalam suatu tinjauan menunjukkan bahwa penempatan N sering meningkatkan ketersediaan P dan hara lainnya yang ditempatkan pada jalur yang sama.

Pada tanah-tanah yang memasok hanya sedikit N dan tanah-tanah yang berada di bawah pengaruh kehilangan N yang nyata melalui pelindian atau denitrifikasi, teknik pemberian terbagi (split) sering dipakai. Ketika biaya pupuk N tinggi dan harga komoditi relatif rendah, praktik ini kemungkinan lebih diingini untuk memperbaiki efisiensi penggunaan tanaman.

Di samping kehilangan-kehilangan N dari sistem tanah-tanaman, suatu bagian yang nyata dari N yang diberikan pada sistem-sistem tanpa olah atau pengolahan terbatas dapat menjadi terimobilisasi dalam mulsa sisa yang melapuk dan karena itu mengurangi jumlah N yang tersedia untuk pertumbuhan tanaman. Jika pupuk N ditebas di atas mulsa yang melapuk ini, ini akan berkemungkinan menghasilkan imobilisasi yang lebih besar daripada jika N ditempatkan ke dalam tanah di bawah mulsa. Oleh karena itu, praktik-praktik pengelolaan pupuk yang baik (takaran dan metode aplikasi) akan secara khusus penting pada sistem-sistem tanpa olah karena potensi kehilangan N dan imobilisasi.

### **Waktu Aplikasi Nitrogen**

Untuk menjamin adanya suatu pasokan N tersedia yang cukup tetapi tidak berlebihan untuk tanaman selama musim pertumbuhan memerlukan pengelolaan

yang baik relatif terhadap waktu aplikasi dan sering berhubungan dengan sistem tanah-tanaman yang bersangkutan. Untuk tanah-tanah dengan tekstur berpasir, di mana pasokan N asli sering rendah dan potensi kehilangan N melalui pelindian besar, masalah secara khusus tampak jelas. Meningkatnya penggunaan irigasi dalam tahun-tahun terakhir telah mempengaruhi waktu pemberian N untuk keefektifan dalam meningkatkan hasil tanaman. Penggunaan irigasi pada tanah-tanah berpasir tampak jelas akan memperbesar kemungkinan kehilangan N melalui pelindian. Namun demikian, sistem-sistem pengelolaan irigasi tertentu berkemungkinan menyediakan suatu pengangkut yang memudahkan untuk pemberian N secara ganda, yang menghasilkan perbaikan efisiensi unsur ini.

Kebanyakan tanaman membutuhkan pasokan N yang berkesinambungan pada seluruh musim pertumbuhan dan keperluan ini akan bervariasi dengan tahap kematangan tanaman. Sebagai contoh, periode pengambilan N yang terbesar oleh tanaman jagung adalah pada 40 sampai 50% kematangan. Akan tetapi, kebutuhan akan N untuk tanaman jagung berlanjut sampai tanaman jagung tersebut mendekati kematangan.

Secara teori, merupakan hal yang paling dikehendaki menambahkan N sedekat mungkin ke waktu pengambilan maksimum oleh tanaman selama musim pertumbuhan. Hal ini khususnya benar jika N diberikan melalui fertigasi, yakni praktik pemberian N melalui sistem irigasi.

### **Efisiensi Penggunaan Nitrogen oleh Tanaman**

Tanggapan tanaman terhadap pemberian N merupakan indikasi efisiensi tanaman terhadap beberapa cara untuk mempertimbangkan efisiensi. Metode yang paling langsung adalah menghitung N pupuk yang terserap dengan mengurangi N total dalam tanaman yang tidak dipupuk dari N total dalam tanaman yang dipupuk dan membagi nilai ini dengan N yang ditambahkan. Sebagian dari proses yang mempengaruhi efisiensi pemakaian N adalah spesies tanaman, pengendalian kelengasan tanah, sumber N, takaran dan waktu aplikasi, dan metode aplikasi. Pada gilirannya, tergantung pada faktor-faktor lainnya seperti pelindian, denitrifikasi, laju mineralisasi N tanah, dan riwayat masa lampau yang kemungkinan mempengaruhi tingkat N sisa.

#### **2.1.2. PUPUK FOSFOR**

##### **A. Penyerapan dan Penggunaan Fosfor oleh Tanaman**

Konsentrasi P dalam larutan tanah kira-kira 0,05 mg/kg dan jarang mencapai aras > 0,03 mg/kg dalam tanah-tanah yang belum mempunyai riwayat pemupukan. Tanaman menyerap sebagian besar P dari larutan tanah sebagai ion ortofosfat primer



$\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ataupun ion ortofosfat sekunder  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  lebih mudah diserap oleh sebagian besar tanaman daripada ion  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Ion yang pertama diserap pada suatu laju yang hampir 10 kali lebih cepat daripada laju penyerapan ion yang terakhir. Bentuk-bentuk P lainnya, baik organik maupun anorganik, dapat diserap oleh tanaman pada kondisi-kondisi tertentu tetapi secara praktis tidak begitu penting.

Tanaman menyerap P selama keseluruhan siklus pertumbuhannya, tetapi tanaman muda menyerapnya sangat cepat jika kondisi menunjang. Tanaman sering menyerap 50% dari permintaan total musiman pada waktu tanaman telah mengakumulasi 25% dari bahan kering musiman total. Tanggapan awal musim terhadap pemupukan P yang umum ditunjukkan oleh tanaman sebagian dapat dijelaskan oleh pola penyerapan P ini. Fosfor bersifat mobil dalam tanaman dan bergerak dari jaringan yang lebih tua ke dalam jaringan yang lebih muda jika timbul defisiensi. Dengan semakin dewasanya tanaman, banyak dari P ditranslokasikan dari bagian-bagian vegetatif ke dalam biji dan buah.

Nutrisi fosfor secara umum tidak begitu berpengaruh pada kualitas produk biji kecuali jika P ekstrem kahat. Satu gejala umum defisiensi P adalah tertundanya kematangan. Pemberian P akan mengatasi keadaan ini dan sering menghasilkan kandungan lengas biji yang lebih rendah pada saat panen. Akan tetapi, pemberian P tidak akan mempercepat kematangan di mana tanaman tidak menderita stres P. Penurunan yang menonjol dalam jumlah anakan pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) pada larutan-larutan hara yang kahat P. Penurunan ini juga telah dilaporkan oleh banyak peneliti pada tanaman-tanaman berbiji kecil lainnya. Pengaruh defisiensi P pada tanaman sayur-sayuran penting secara khusus karena pengaruhnya pada kualitas pasar, terutama ukuran dan mutu. Dibawah kondisi-kondisi kekahatan P, ukuran buah sering menurun dan tidak memenuhi kriteria ukuran yang dapat diterima.

Secara umum diakui bahwa spesies-spesies tanaman berbeda dalam tanggapan mereka terhadap tingkat P tanah yang berbeda. Sebagian tanaman secara relatif tumbuh baik pada tanah-tanah dengan P tersedia rendah, sedangkan yang lainnya tidak. Suatu contoh yang sangat baik tentang hal ini adalah gandum (*Triticum aestivum* L.) vs. jagung (*Zea mays* L.). Gandum jauh lebih sensitif terhadap tingkat P tanah yang rendah daripada jagung. Hibrida dan kultivar di dalam spesies dapat juga sangat berbeda dalam kemampuannya menyerap P dari tanah.

## **B. Faktor-Faktor Tanah yang Mempengaruhi Ketersediaan Fosfor**

Ciri-ciri fisika dan kimia tanah merupakan faktor utama yang mengendalikan ketersediaan P bagi tanaman dan mempengaruhi sifat kimia produk akhir yang terbentuk jika pupuk P diberikan pada suatu tanah. Ciri-ciri ini umumnya tidak dapat

diubah tetapi pemahaman tentang pengaruhnya terhadap ketersediaan P sangat membantu dalam penggunaan pupuk P secara efisien.

## Ciri-ciri Kimia

### 1. Bentuk-bentuk Fosfor Tanah

Kandungan P total tanah relatif rendah, dengan banyak tanah mengandung antara 0,02 hingga 0,10% P. Konsentrasi P total biasanya paling tinggi dalam tanah lapisan permukaan dan terendah dalam horizon A yang lebih bawah atau horizon B bagian atas sebagai hasil dari pendauran P oleh tanaman yang tumbuh. Fosfor terdapat dalam bentuk-bentuk organik dan anorganik. Klorapatit, fluorapatit, dan hidroksiapatit umumnya adalah mineral-mineral primer utama, sedangkan wavellit dan vivianit adalah mineral-mineral sekunder utama. Sebagian apatit, terutama tipe-tipe sedimen, adalah mineral-mineral sekunder. Senyawa-senyawa P organik seperti inositol fosfat, asam nukleat, dan fosfolipida menempati < 50% dari P organik dalam tanah, sedangkan senyawa-senyawa P organik selebihnya terdapat sebagai "senyawa-senyawa P tak teridentifikasi" lainnya.

### 2. pH Tanah

pH tanah mempengaruhi ketersediaan P untuk tanaman dengan dua cara. Pertama, pH larutan tanah adalah yang paling menentukan bentuk ion yang ada. Di dalam kisaran pH 5 hingga 7,2, bentuk ion yang dominan adalah  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , sedangkan antara pH 7,2 hingga 9, ion yang dominan adalah  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Seperti yang telah diindikasikan sebelumnya, ion bentuk pertama diserap lebih mudah oleh sebagian besar tanaman. Kedua, pH tanah juga mengendalikan tipe dan kelarutan mineral-mineral tanah. Mineral-mineral ini dapat berupa produk-produk reaksi pupuk, mineral-mineral sekunder atau primer. Perhatian terbesar kita adalah terhadap produk-produk reaksi yang terbentuk bila pupuk P diberikan ke tanah.

Ketika suatu pupuk P ditambahkan pada suatu tanah masam, ia bereaksi dengan senyawa-senyawa Fe dan Al membentuk produk-produk kompleks yang dapat tidak begitu larut dan kurang tersedia bagi tanaman. Senyawa-senyawa yang terbentuk dapat mengendap dari larutan, terjerap pada permukaan oksida-oksida Fe dan Al, atau terjerap pada partikel-partikel lempung.

Dalam tanah-tanah alkalin dan kalkareus, fosfat-fosfat terlarut juga akan berubah kembali (revert) menjadi senyawa-senyawa dikalsium dan rikalsium fosfat atau bahkan senyawa-senyawa mirip apatit yang relatif tidak larut. Ion-ion fosfat dapat juga terikat dalam bentuk-bentuk yang tidak tersedia pada permukaan partikel-partikel  $\text{CaCO}_3$  dan pada lempung-lempung yang jenuh Ca. akan tetapi, senyawa-senyawa yang terendapkan ini mempunyai area permukaan yang luas yang bersinggungan

dengan larutan tanah, dan banyak dari P tersebut dapat dilepas secara lambat untuk penggunaan tanaman.

### **Ciri-ciri Fisika**

#### **1. Aerasi dan Pemadatan**

Aerasi tanah mempengaruhi keadaan oksidatif senyawa-senyawa anorganik, dekomposisi bahan organik dan pelepasan P, dan juga halnya proses-proses metabolik yang kompleks yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, aerasi mempunyai pengaruh yang jelas terhadap ketersediaan dan penyerapan P. Suatu contoh dijumpai pada produksi padi sawah. Dibawah kondisi-kondisi anaerob yang diakibatkan oleh penggenangan, besi feri direduksi ke bentuk fero. Fero fosfat lebih mudah larut daripada feri fosfat; akibatnya, ketersediaan P meningkat beberapa kali lipat.

Pemadatan dan struktur tanah mempengaruhi hubungan-hubungan P secara tak langsung melalui pengaruhnya pada aerasi. Meningkatnya pemadatan dapat secara fisik menghambat penembusan akar yang menyebabkan P menjadi tidak tersedia karena posisinya. Dalam suatu tanah yang dipadatkan dengan kondisi agregat yang mendorong perkembangan suatu tanaman dengan sistem perakaran yang kasar, serapan P menurun secara cukup berarti. Hal ini dianggap disebabkan oleh sistem perakaran yang kurang rapat yang menyebabkan P karena posisinya menjadi tidak tersedia.

#### **2. Temperatur**

Defisiensi fosfor lebih menonjol pada temperatur rendah. Oleh sebab itu, tanaman sering tanggap terhadap pemberian pupuk P sebagai pemacu awal selama musim semi yang dingin. Peningkatan dalam tanggapan P ini dengan menurunnya temperatur telah dikaitkan dengan beberapa faktor. Diantaranya adalah menurunnya translokasi P dari akar, menurunnya pertumbuhan akar, menurunnya serapan P oleh akar, menurunnya mineralisasi P organik tanah, lebih lambatnya reaksi dari granul pupuk, dan menurunnya laju difusi P ke permukaan akar. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi serapan P pada temperatur-temperatur yang lebih rendah adalah berkurangnya perkembangan akar. Rasio akar/pucuk adalah paling besar.

#### **3. Kelengasan**

Bagian terbesar P bergerak ke akar melalui difusi melalui lapisan tipis air disekitar partikel tanah. Dengan menurunnya kelembaban tanah, jalur difusi ini menjadi lebih panjang, dan pergerakan berjalan pada laju yang lebih lambat. Serapan P oleh tanaman telah ditunjukkan menurun dengan meningkatnya tegangan lengas.

Serapan P relatif oleh semai jagung adalah 100, 94, 80, 50, dan 35 masing-masing pada tegangan lengas tanah 1/3, 1/2, 1, 3, dan 5 bar. Tanaman kedelai [*Glycine max* (L.) Merr.] dengan kandungan P jaringan yang tinggi kurang dipengaruhi oleh stres lengas daripada tanaman dengan kadar P jaringan yang lebih rendah. Pemupukan P yang cukup juga telah dilaporkan meningkatkan efisiensi pemakafan air oleh tanaman. Aplikasi P pada tingkat yang cukup berkaitan dengan suatu peningkatan hasil sebesar 6,5 ton/ha dan suatu penurunan dalam pemakaian air sebesar 13,6 cm/ton.

#### **4. Pergerakan dan Kehilangan**

Fosfor relatif imobil dalam sebagian besar tanah dan tidak begitu bergerak dari titik aplikasi. P terlarut jarang bergerak lebih dari 2 atau 3 cm dari suatu granul pupuk sebelum reaksi dengan komponen-komponen tanah pada dasarnya menghentikan pergerakan lebih jauh. Pemberian P yang berulang pada permukaan tanah bertekstur medium yang tidak terusik akan menghasilkan pergerakan ke bawah yang lambat hingga 10 sampai 12 cm. Aplikasi dengan pencampuran secara mekanik dalam tanah permukaan secara normal tidak begitu berpengaruh terhadap tingkat P tersedia dalam tanah di bawahnya. Pergerakan P yang terbatas ini menunjukkan perlunya pada awalnya menempatkan pupuk, P pada posisi yang tepat agar keefektifannya maksimum.

#### **C. Pengaruh Amonium**

Banyak peneliti telah menemukan serapan dan penggunaan P oleh tanaman yang lebih baik jika senyawa-senyawa N amonium ( $\text{N-NH}_4^+$ ) berada dalam pupuk atau diberikan bersama pupuk. Pengaruh yang sama umumnya menganggap bahwa pengaruh merangsang  $\text{N-NH}_4^+$  pada ketersediaan P disebabkan oleh pH yang rendah dalam rhizosfer, tanaman, kemungkinan meningkatnya percabangan akar tanaman meningkatnya metabolisme tanaman, kemungkinan meningkatnya serapan per satuan permukaan akar, dan penyebab lainnya. Pengaruh netto dari peningkatan ketersediaan P untuk tanaman ini, khususnya pada tanah-tanah yang kahat P, bagi amonium fosfat adalah untuk menghasilkan peningkatan tanggapan pertumbuhan awal dan, dalam beberapa confoh, hasil tanaman akhir yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan senyawa-senyawa P yang dipasok tanpa disertai garam-garam amonium.

#### **D. Takaran Pemupukan Fosfor**

Takaran pemupukan fosfor cukup bervariasi tergantung pada faktor-faktor tanah dan tanaman yang telah dibahas sebelumnya dan juga perbedaan-perbedaan dalam filosofi rekomendasi pemupukan. Secara umum, pupuk yang direkomendasikan

pada tingkat uji tanah tinggi dianggap sebagai suatu tindakan penjamin dengan niat bahwa pembuat rekomendasi ingin yakin bahwa pupuk tidak menjadi suatu faktor pembatas dan bahwa produksi tanaman berada pada suatu tingkat optimum jika tanah mempunyai nilai uji tinggi.

Untuk tanah-tanah dengan hasil uji yang rendah terdapat ketidaksepakatan tentang tingkat uji P tanah yang harus dibangun untuk produksi maksimum. Jumlah yang dibutuhkan untuk membuat tanah-tanah yang berbeda masuk ke dalam kisaran-kisaran tingkat uji yang lebih tinggi bervariasi.

Penempatan pupuk P di dalam tanah dalam posisi dan bentuk yang segera tersedia untuk tanaman yang sedang tumbuh berkemungkinan jauh lebih penting daripada masalah waktu aplikasi pupuk. Karena pergerakan P di dalam tanah terbatas, pupuk P harus pada awalnya ditempatkan pada posisi yang benar dalam hubungannya dengan sistem perakaran tanaman dan pasokan lengas tanah.

Aplikasi pupuk P yang ditebar dengan merata merupakan hal yang fisibel dalam bentuk kering ataupun cairan. Pencampuran selanjutnya dengan tanah dari pupuk P yang ditebar dengan pengolahan akan mencampurkannya ke dalam tanah dan menempatkan sebagian dari P tersebut cukup dalam di dalam tanah sehingga akan berada dalam zona yang lembab paling tidak selama suatu bagian dari musim pertumbuhan.

Pada tanah-tanah yang mengandung tingkat-tingkat P tersedia rendah, waktu dan metode dapat cukup penting. Penempatan dalam zone perakaran efektif (dan relatif dekat dengan waktu kebutuhan tanaman actual) umumnya menghasilkan efisiensi penggunaan P yang lebih besar. Akan tetapi, pada tanah-tanah yang mengandung P tersedia pada tingkat medium hingga tinggi, waktu dan metode aplikasi menjadi kurang penting. Aplikasi P yang lebih fleksibel dimungkinkan tanpa mempengaruhi hasil secara serius asalkan P dibajak ke dalam atau dicampur secara dalam ke dalam tanah.

Secara umum diterima bahwa efisiensi aplikasi pupuk pada jalur paling tidak sama dengan bahkan sering lebih besar daripada untuk aplikasi secara tebar. Namun demikian, keuntungan agronomi-ekonomi penempatan secara jalur yang potensial ini telah diabaikan oleh banyak petani karena sebagian besar pemberian pada jalur dianggap sebagai suatu operasi "pada umumnya semakin dekat pemberian hara ke saat penggunaannya oleh tanaman, semakin besar pula efisiensi serapan. Oleh karena itu, aplikasi secara jalur dapat memberikan efisiensi yang lebih besar karena semakin kecilnya immobilisasi P lewat jalur mikrobial, kimia ataupun fisika.



### 2.1.3. PUPUK KALIUM

Penggunaan pupuk K pada tanaman memberikan tambahan terhadap pasokan dari tanah. Jumlah yang diperlukan tergantung pada bentuk-bentuk yang ada dalam tanah, jumlah masing-masing bentuk, laju pemasokan ke akar tanaman, reaksi K yang ditambahkan dengan tanah, dan faktor-faktor lingkungan dan tanaman yang mempengaruhi pemanfaatan pupuk K.

#### A. Kalium di dalam Tanah

Tanah-tanah mengandung K dari 0,5 hingga 2,5% atau hingga 500 kwintal/ha dalam lapisan 15 cm teratas. Ini merupakan jumlah yang sangat banyak relatif terhadap serapan K tanaman setiap tahunnya, tetapi semuanya kecuali 1 atau 2% darinya pada dasarnya tidak dapat tersedia karena berada dalam mineral-mineral yang tidak begitu dapat larut.

Terdapat perpindahan di antara masing-masing bentuk untuk mencapai suatu kesetimbangan, tetapi lajunya sangat lambat antara mineral dan bentuk-bentuk yang lebih tersedia dimana biasanya kesetimbangan tidak dipertahankan. K<sup>+</sup> dapat dipertukarkan dan dalam larutan mencapai kesetimbangan dengan cepat. K yang sukar tersedia mencapai kesetimbangan sangat lambat dengan bentuk-bentuk dapat dipertukarkan dan dalam larutan. Pegerakan dari bentuk mineral ke salah satu dari ketiga bentuk lain ekstrem lambat dalam sebagian besar tanah sehingga selama periode pertumbuhan suatu tanaman, K mineral dapat dianggap pada dasarnya tidak dapat tersedia.

K mineral diikat kuat dalam struktur felspar dan mika yang sangat tahan terhadap pelapukan. K sukar tersedia terutama terdapat pada mineral langsung seperti illit, vermikulit dan kalorit. Lempung melepas K melalui pemisahan kisi lempung. Ukuran partikel lempung yang kecil memudahkan pelepasan K. K<sup>+</sup> dapat dipertukarkan yang diikat oleh gaya elektrostatis, sangat mudah dipertukarkan dari fase padat tanah ke larutan oleh kation-kation lainnya.

#### B. Pasokan Kalium ke Akar Tanaman

Kalium harus dapat tersedia menurut posisi pada permukaan akar dan juga dalam bentuk dapat tersedia sebagai K<sup>+</sup> dalam larutan sebelum ia akan diserap ke dalam akar melalui mekanisme serapan yang dikendalikan secara metabolik. Dalam sebagian besar tanah, K harus bergerak ke akar sebelum diserap karena jumlah yang tercegat pada permukaan akar oleh akar yang bertumbuh ekstrim kecil.

Mekanisme pemasokan ke akar adalah melalui aliran massa dan difusi. Aliran massa merupakan transportasi K dalam aliran konvektif air ke akar yang dihasilkan oleh penyerapan dan transpirasi air oleh tanaman. Jumlah yang diangkut

melalui aliran massa tergantung pada jumlah air yang digunakan oleh tanaman dan kandungan K dalam air yang mengalir melalui tanah ke akar. Jika aliran massa harus memasok semua K bagi suatu tanaman jagung, air yang bergerak ke akar perlu mempunyai kandungan K lebih dari 40mg/kg. karena banyak tanah di daerah basah hanya mempunyai sekitar sepersepuluh dari jumlah ini, difusi biasanya dianggap sebagai mekanisme yang paling penting untuk memasok K ke akar.

Difusi K ke akar yang bertumbuh ke tanah terjadi pada jarak yang pendek. Difusivitas cukup lambat sehingga gradien konsentrasi hanya meluas sampai sekitar 1 hingga 4 mm dari permukaan akar selama waktu pertumbuhan tanaman semusim.

Karena difusi biasanya merupakan mekanisme yang dominan, faktor-faktor yang mempengaruhi laju pemasokan melalui difusi akan mempengaruhi ketersediaan K bagi tanaman. Jumlah difusi K akan mempengaruhi ketersediaan K bagi tanaman. Jumlah K yang berdifusi ke sistem perakaran tanaman bergantung pada (i) gradien konsentrasi K, (ii) laju difusi, dan (iii) luas permukaan akar.

Gradien konsentrasi K untuk difusi bergantung pada tingkat K dalam tanah dan jumlah penurunan konsentrasi K oleh akar pada permukaannya. Yang disebut terakhir bervariasi dengan spesies dan bergantung pada laju penyerapan K oleh akar dibandingkan dengan laju pemasokan oleh akar.

Laju difusi dalam tanah, koefisien difusi semu, meningkat dengan meningkatnya lengas tanah. Hal ini disebabkan oleh menurunnya tortuositas dari lintasan difusi dan volume air yang lebih besar melalui mana K dapat berdifusi. Kandungan garam yang meningkat dan juga meningkatnya aras K dalam tanah meningkatkan laju difusi. Kalium berdifusi lebih cepat melalui tanah-tanah bertekstur kasar daripada yang bertekstur halus. Pada kandungan lengas yang sama, meningkatnya berat volume tanah menyebabkan peningkatan dalam difusi sampai pada berat volume sekitar 1,5. Di atas nilai ini difusi menurun dengan meningkatnya berat volume, karena lintasan difusi menjadi semakin panjang.

Tanaman dengan akar-akar halus yang banyak mempunyai kemungkinan lebih banyak berdifusi ke akar tiap gram akar dibandingkan dengan tanaman dengan akar-akar yang kasar karena mereka mempunyai luas akar yang jauh lebih besar. Difusi K dalam kebanyakan tanah tampaknya cukup cepat sehingga keberadaan akar-akar rambut tidak berpengaruh besar dalam meningkatkan serapan K. Meningkatnya tingkat lengas dan kejenuhan K, meningkatkan laju difusi.

#### **E. Faktor-Faktor Tanah yang Mempengaruhi Efisiensi Penggunaan Kalium**

Jumlah pupuk K yang diperlukan tanaman tertentu akan tergantung pada kebutuhan tanaman, jumlah yang terdapat pada tanah, dan efisien penggunaan K tanah dan pupuk oleh tanaman. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi

penggunaan pupuk K adalah (i) reaksi pupuk K yang ditambahkan ke tanah, (ii) laju pergerakan K dalam tanah, (iii) kehilangan K dari tanah melalui erosi dan pelindian, dan (iv) sifat-sifat tanah seperti aerasi, yang mempengaruhi laju penyerapan K oleh tanaman.

### 1. Reaksi pupuk kalium dengan tanah

Pupuk kalium seperti KCl yang ditambahkan pada tanah akan bereaksi 100% larut dalam air.  $K^+$  dapat larut ini mencapai kesetimbangan dengan kation-kation tertukar yang terdapat dalam tanah dengan hasil bahwa sebagian besar (95% atau lebih pada banyak tanah) menjadi  $K^+$  dapat dipertukarkan mudah tersedia untuk difusi ke akar.

Sebagian K yang ditambahkan lambat laun bergerak ke dalam suatu bentuk yang disebut K terfiksasi. Kalium ini terjebak di antara kisi-kisi lempung dan sangat lambat tersedia bagi akar tanaman. Jumlah yang terfiksasi bergantung pada tipe lempung yang terdapat pada tanah. Illit, vermikulit dan klorit memfiksasi K; montmorilinit dan kaolinit biasanya tidak. Fiksasi berhubungan dengan kerapatan muatan lempung. Lempung-lempung dengan muatan kisi yang tinggi memfiksasi K paling banyak.

Pada sebagian lempung dengan kerapatan muatan yang tinggi, jumlah fiksasi K kekurangan karena kehadiran gugus-gugus Al, Fe hidroksil antara lapisan yang mendesak lapisan-lapisan yang saling menjauh, sehingga mencegah keruntuhan disekitar ion-ion  $K^+$  tanah-tanah yang berkembang di bawah kondisi masam mempunyai kemungkinan yang lebih besar mempunyai gugus-gugus antara lapisan yang mendesak lapisan menjadi terpisah.

Jika K ditambahkan pada tanah, K tertukarkan atau K uji tanah bisa tidak meningkat mendekati besarnya jumlah K yang ditambahkan.

### 2. Pelepasan kalium sukar tersedia

Kalium dilepaskan dari bentuk-bentuk tak tertukarkan menjadi  $K^+$  yang dapat dipertukarkan dan  $K^+$  dapat larut jika tanah ditanami. Pengukuran K secara potensial tersedia untuk dilepaskan telah dilakukan dengan pertanaman secara intensif menguras hara tanah. Jumlah pelepasan yang terjadi pada waktu tanaman di pupuk dengan K tampaknya akan jauh lebih kecil daripada pada kondisi pertanaman yang intensif menguras hara karena gradien konsentrasi K untuk pergerakan dari bentuk tidak tertukarkan ke bentuk yang dapat dipertukarkan akan lebih kecil.

Pelepasan K merupakan reaksi yang berlawanan dengan fiksasi untuk mendapatkan pelepasan, seorang biasanya harus menurunkan muatan pada mineral lempung sehingga jerapan muatan yang tinggi tersebut tidak akan menyebabkan K



terikat kuat. Satu mekanisme untuk mengurangi muatan adalah melalui oksidasi Fe yang ada dalam struktur kristal lempung.

### **3. Pergerakan kalium pada tanah**

Karena K dipegang sebagai suatu kation yang dapat dipertukarkan, ia tidak dengan mudah bergerak melalui tanah bersama pergerakan air dalam tanah yang mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) yang cukup berarti ( $> 0,05$  mek/kg). Kalium bergerak terutama melalui melau difusi. Jika K diberikan pada permukaan suatu tanah berdebu atau yang bertekstur lebih halus, K tidak akan bergerak  $> 1$  atau  $2$  cm ke dalam tanah pertama.

### **4. Kehilangan kalium dari tanah**

Pada hampir semua keadaan, K terlindi dari tanah sangat kecil. Jika kita mengetahui kandungan K rata – rata dari suatu larutan tanah dan jumlah air yang merembes melalui suatu tanah dalam satu tahun, kita dapat menaksir kehilangan tahunan. Tanah-tanah di daerah yang lebih kering (*arid*) dapat mempunyai kandungan K yang lebih tinggi dalam larutan tanah, akan tetapi mereka juga hanya mempunyai sedikit perkolasi air melau profil.

Kehilangan dapat lebih tinggi pada tanah-tanah masam. Pada tanah masam, proporsi K tersedia yang lebih tinggi terdapat dalam larutan tanah jika ion-ion dapat dipertukarkan yang menyertai adalah  $H^+$  dan  $Al^{3+}$  dari pada jika ion-ion tersebut adalah  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  kehilangan-kehilangan yang lebih tinggi juga telah dilaporkan pada tanah-tanah organik.

Aliran air permukaan biasanya akan mengandung K dalam larutan yang lebih sedikit daripada air perkolasi. Oleh karena itu, K yang hilang per unit air yang hilang dari tanah lebih sedikit. Karena aliran air permukaan mengangkut debu dan lempung yang mengandung K tertukarkan dan K mineral, K total yang hilang mungkin jauh lebih banyak dari pada yang hilang dari larutan tanah.

## **D. Sifat-Sifat Tanah Yang Mempengarui Serapan Kalium Oleh Tanaman**

### **1. Aerasi**

Pengurangan aerasi tanah lebih besar pengaruhnya dalam mengurangi pengambilan K daripada pengambilan hara utama lainnya. Aerasi berkurang oleh kondisi kelembaban tanah yang tinggi dan pemadatan tanah. Aerasi yang dipaksakan di bawah kondisi-kondisi ini meningkatkan pertumbuhan jagung dan kandungan K. Aerasi tanah yang buruk dapat dihasilkan oleh pratik pembajakan yang tidak benar, terutama pembajakan tanah-tanah yang basah. Tanah-tanah yang sangat padat dapat diperbaiki dengan drainase.

## 2. Kelengasan Tanah

Terdapat suatu hubungan antara tanggapan tanaman terhadap K yang diberikan dan kelembaban tanah rata-rata yang terdapat selama pertumbuhan tanaman. Ada suatu hubungan antara jumlah hari tanpa hujan dan tanggapan kentang (*solanum tuberosum* L.) terhadap K yang diberikan lebih besar.

### D. Meningkatkan Kalium yang Dapat Tersedia

Terdapat suatu tingkat K tersedia tanah yang di atasnya pemberian K tidak lagi meningkatkan hasil tanaman. Jika kita menggunakan suatu praktek pemupukan untuk meningkatkan K tersedia tanah, kita harus berusaha mempertahankan tanah pada tingkat ini. Jumlah K yang harus ditambahkan untuk mempertahankan suatu tingkat tertentu tergantung pada tingkat awal dan derajat fiksasi tergantung pada mineral-mineral lempung yang terdapat pada tanah. Jumlah K yang diperlukan juga dipengaruhi oleh pengambilan tanaman. Jika seluruh bagian tanaman di atas tanah di panen, sejumlah K yang besar dapat terangkut. Pada tanaman biji-bijian yang hanya diambil pada bagian bijinya, K tersangkut jauh lebih sedikit, karena biasanya biji mempunyai kandungan K yang jauh lebih rendah dari pada bagian tanaman selebihnya.

## G. Aplikasi Pupuk Kalium

### 1. Takaran

Takaran pupuk K yang diperlukan untuk memberikan hasil yang maksimal ataupun yang lebih menguntungkan tergantung pada tanaman yang diusahakan, tingkat hasil tanaman, tingkat K tersedia dalam tanah dan jumlah pertanaman secara berturut-turut yang dipupuk dengan aplikasi saat ini. Biji-bijian yang kecil biasanya kurang responsif terhadap K di bandingkan dengan tanaman-tanaman seperti jagung.

Tanaman-tanaman yang mengangkut K dalam jumlah besar menurunkan tingkat K tersedia tanah dan meningkatkan kebutuhan akan K bilamana seluruh tanaman diambil, K dalam jumlah besar merangkut karena sebagian besar tanaman mengandung hingga 3% K atas dasar berat kering.

Takaran pemberian yang diperlukan akan bervariasi dengan tingkat hasil tanaman yang ditanam. Apabila faktor-faktor produksi lainnya memungkinkan hasil yang lebih besar daripada rata-rata, jumlah pupuk K yang diperlukan akan lebih besar. Akan tetapi, peningkatan tersebut akan jauh lebih kecil daripada peningkatan yang sebanding dalam hasil. Tanaman-tanaman yang menghasilkan lebih banyak pertumbuhan bagian atas biasanya menghasilkan lebih banyak akar, yang pada gilirannya dapat mengambil lebih banyak K dalam tanah, namun demikian pada

akhirnya akan diperlukan pemberian-pemberian yang lebih besar, untuk mengganti K yang terangkut oleh hasil panen yang lebih besar.

## **2. Frekuensi**

Frekuensi pemberian K untuk hasil yang optimum tergantung pada tanaman yang di tanam, daya fiksasi relatif tanah, dan kemampuan tanah memegang K melawan kehilangan melalui pelindian. Bilamana keseluruhan tanaman diambil, biasanya perlu memupuk setiap tanaman. Bilamana rumput untuk diambil jeraminya di tanam dan dilakukan pemotongan beberapa kali setahun, dapat dimungkinkan untuk mengambil dua atau tiga pemotongan dari satu aplikasi K. penggunaan K yang lebih efisien akan terjadi dengan suatu aplikasi tiap panen. Akan tetapi, biaya aplikasi dapat membuat lebih ekonomisnya pemberian K yang kurang sering.

## **3. Penempatan**

Beberapa cara pemberian K untuk tanaman adalah (i) pemberian pada jalur dengan atau lebih dekat benih pada tanaman, (ii) ditebar pada permukaan, (iii) ditebar dan dibajak ke dalam, (iv) ditebar dan dicampurkan dengan pembajakan permukaan, (v) pemberian jalur ke dalam permukaan tanah, dan (vi) pemberian jalur kedalam tanah lapisan bawah. Bilamana takaran rendah, aplikasi baris seringkali lebih efisien daripada pemberian secara tebar. Namun dengan meningkatkan takaran maka perbedaan diantara metode aplikasi biasanya hilang.

### **2.2. BIOCHAR**

#### **2.2.1. BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BAKU BIOCHAR**

Biochar adalah zat halus dan keropos, sangat mirip dengan arang yang diproduksi oleh pembakaran alam. Istilah biochar mengacu pada karbon hitam yang dibentuk oleh pirolisis yaitu pemanasan biomassa dalam suatu lingkungan bebas oksigen. Karbon hitam dihasilkan dari bahan baku biomassa. Biomassa adalah semua bahan organik terbarukan, apakah dia tumbuh pada media tanah atau pada media air, termasuk produksi ternak dan kotorannya, produksi dan limbah industri pangan, hasil samping dan limbah industri hutan, dan sampah kota (Stout, 1984). Biochar adalah produk padat pirolisis, kaya karbon, hasil konversi biomassa secara termokimia di dalam wadah tanpa oksigen atau suplai oksigen terbatas.

Hampir setiap bahan organik dapat dikonversi menjadi biochar. Karakter masing-masing bahan organik akan memiliki pengaruh pada sifat fisik, kimia, dan biologi tanah setelah dimasukkan kedalam tanah. Bahan organik memiliki peran penting dalam memperbaiki sifat kimia, fisik dan biologi tanah. Meskipun kontribusi unsur hara dari bahan organik tanah relatif rendah namun peranannya cukup penting karena selain unsur N, P, K, bahan organik juga merupakan sumber unsur

essensial lain seperti C, Zn, Cu, Mo, Ca, Mg, dan Si.

Bahan baku dan proses pirolisis menentukan jumlah dan distribusi bahan mineral pada biochar (Amonette dan Joseph, 2009). Bahan yang berasal dari kayu umumnya memiliki kadar abu rendah (<1% berat), sedangkan rumput, jerami, dan biji-bijian (sekam) memiliki kandungan silica yang tinggi mencapai 24% (Raveendran *et al.*, 1995). Sebagian besar kandungan mineral dalam bahan baku tersebut masih ada dalam biochar dan sebagian lagi hilang (C, H, dan O) selama pirolisis. Biochar dari pupuk organik dan limbah biasanya memiliki kandungan abu yang sangat tinggi. Biochar pukan (pupuk kandang) ayam dapat memiliki kandungan 45% abu dari bahan baku (Koutcheiko *et al.*, 2007), sedangkan biochar tulang dapat mengandung mineral mencapai 84% dari bahan baku (Purevsuren *et al.*, 2004). Jenis bahan baku dan kondisi pirolisis mempengaruhi karakteristik fisika-kimia biochar. Karena berbagai pilihan biomassa dan sistem pirolisis tersedia, maka variabilitas dalam biochar yang dapat diproduksi tinggi. Variabilitas ini memiliki implikasi pada kandungan dan ketersediaan hara biochar dan unsur hara untuk tanaman saat biochar diterapkan pada tanah (Downie *et al.*, 2009). Biochar diproduksi dari berbagai biomassa dan umumnya bisa digunakan untuk perbaikan tanah. Kondisi proses yang digunakan dalam studi di berbagai literatur sering menyulitkan jika ingin membandingkan hasil mengenai efek sifat bahan baku dari karakteristik biochar. Demikian pula efektivitas penggunaan biochar dapat bervariasi, dan sumber biomassa yang digunakan dapat mempengaruhi karakterisasi biochar. Hasil-hasil penelitian telah menunjukkan perbedaan karakteristik biochar dari bahan baku dan kondisi produksi, seperti yang telah dilaporkan oleh Widowati *et al.* (2011, 2014, 2017); Peng *et al.* (2011); Ammu *et al.* (2015).

Setelah penambahan biochar ke tanah akan terlihat karakteristik biochar dapat menyebabkan variasi dalam mempengaruhi proses di dalam tanah dan pertumbuhan tanaman. Variasi dalam karakteristik biochar memerlukan kajian lebih lanjut tentang dampak dari karakteristik biochar maupun pupuk organik pada sifat-sifat tanah. Windeatt *et al.* (2014) menyebutkan sifat agronomi penting dari biochar bila digunakan dalam amandemen tanah meliputi porositas, pH, kapasitas air memegang, kandungan hara dan kapasitas tukar kation. Menurut Enders *et al.* (2012), biochar memiliki kandungan yang mudah menguap yang rendah dan karbon yang tinggi bila dibandingkan dengan biomassa berbagai bahan baku. Purakayastha *et al.* (2013) menemukan bahwa kapasitas memegang air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung (456%). KTK bervariasi dari bahan baku yang berbeda, mulai 4,5-40 cmol/kg (Uzoma *et al.*, 2011). Metode produksi tidak menyebabkan variasi yang signifikan dalam kandungan P tetapi bahan baku menghasilkan variasi P dalam biochar yang dihasilkan (Ammu *et al.*, 2015). Bahan



baku biochar dan kondisi produksi dapat mempengaruhi kualitas biochar. Sifat heterogen jenis biochar menyebabkan penilaian kualitas biochar berbeda ketika diterapkan pada berbagai kondisi tanah, khususnya di lahan kering Kabupaten Malang. Oleh karena itu dipandang perlu untuk menilai sifat tanah dari aplikasi jenis biochar dan pupuk organik pada pertanaman jagung di berbagai jenis tanah di lahan kering di Kabupaten Malang Selatan.

Setiap jenis biochar memiliki sifat-sifat yang berbeda berdasarkan kondisi produksi dan bahan baku yang digunakan. Naeem *et al.* (2014), melaporkan variasi suhu pirolisis dan bahan baku akan mempengaruhi hasil dan komposisi hara biochar. Biochar sangat bervariasi dalam komposisi unsur hara dan ketersediaannya tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis. Pemilihan bahan baku awal sangat mempengaruhi produk akhir. Bahan baku seperti kotoran unggas akan menghasilkan biochar dengan peningkatan unsur hara yang tersedia. Perbandingan antara sampah unggas, sekam kacang dan serpihan pinus menunjukkan kecenderungan yang sama (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan ketersediaan unsur hara antara biochar limbah kotoran sapi dan biosolid. P tersedia meningkat dengan biochar kotoran sapi karena P lebih mudah larut daripada senyawa Ca dan Mg. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi N dan P yang berasal dari biochar lumpur air limbah serta unsur hara mikro dan makro lainnya, juga menjadi alasan utama untuk penurunan unsur hara yang tersedia. Ketersediaan P mungkin berbanding terbalik dengan suhu pirolisis (Zheng *et al.*, 2013). Namun, penelitian lain (Chan *et al.*, 2007, 2008; Gaskin *et al.*, 2008; Qayyum *et al.*, 2012) menunjukkan bahwa kedua bahan baku dan suhu pirolisis memiliki pengaruh pada unsur hara yang tersedia di biochar, dengan kandungan unsur hara umumnya meningkat dengan semakin meningkatnya suhu (Gaskin *et al.*, 2008).

Meskipun konsentrasi hara dalam bahan baku tidak dapat digunakan untuk memprediksi kuantitatif kandungan hara biochar dalam bentuk total atau tersedia, jenis bahan baku yang digunakan selama pirolisis memiliki pengaruh yang kuat pada karakteristik biochar (misalnya Gaskin *et al.*, 2008; Cantrell *et al.*, 2012; Kloss *et al.*, 2012). Gaskin *et al.* (2008), menunjukkan bahwa jumlah N total dari bahan baku ke biochar berkisar antara 27,4-89,6% pada masing-masing biochar kotoran unggas dan chip pinus. Selanjutnya kisaran total P, K, Ca dan Mg bervariasi dari 60-100% dengan kisaran tersedia dari sekitar 10-80% tergantung pada sumber bahan baku (Gaskin *et al.*, 2008).

Pentingnya sumber bahan baku untuk menentukan unsur hara dalam biochar. Dalam karakter bio nabati, kandungan C rendah karena konsentrasi yang lebih tinggi dari mineral lainnya dalam bahan baku (misalnya, mineral silika). Namun, biochar berbasis tanaman sering memiliki kandungan unsur hara yang relatif rendah

(Cantrell *et al.*, 2012) dibandingkan dengan biochar berbasis kotoran hewan. Hal ini terutama berlaku untuk kandungan N total sebagai kandungan N awal bahan baku biasanya lebih rendah dari pupuk; konsentrasi N di biochar yang banyak seperti dalam pupuk disebabkan kandungan protein yang tinggi dalam bahan baku. Bersamaan dengan hal itu, biochar nabati cenderung bertindak sebagai sumber langsung dari unsur hara (Cantrell *et al.*, 2012). Di sisi lain, biochar pupuk kandang mungkin lebih cocok untuk memasok unsur hara setelah aplikasi ke dalam tanah.

Potensi bahwa semua biochar bertindak sebagai kondisioner tanah untuk meningkatkan C organik tanah dan kandungan bahan organik, atau untuk meningkatkan sifat fisik tanah seperti kapasitas memegang air. Namun, tidak semua biochar akan memasok unsur hara tanaman dalam jumlah yang relevan. Misalnya, biochar kayu lunak mengandung (rata-rata) 200 mg kg<sup>-1</sup> P tersedia. Mengingat analisis P tanah untuk jagung dengan irigasi di South Carolina (AS) memanfaatkan pertanian biochar dari air limbah *sludge* menunjukkan bahwa 67 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha dibandingkan dengan bahan baku biochar yang banyak digunakan lingoselulosa atau pupuk kandang, biochar berbasis alga cenderung C relatif lebih rendah, tapi sering N, P dan unsur hara lainnya tinggi. Oleh karena itu, tidak menganggap semua biochar mampu memasok unsur hara tersedia untuk tanaman awal.

Tanggapan positif dari aplikasi biochar tidak hanya berhubungan dengan unsur hara tanaman termasuk netralisasi toksin (Wardle *et al.*, 1998); memperbaiki sifat fisik tanah (misalnya peningkatan kapasitas menahan air) (Iswaran *et al.*, 1980) atau mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Kapasitas menahan air dari biochar maupun pupuk organik tergantung dari bahan baku biomassa. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010), menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

*Bulk density* biochar sekam padi, tongkol jagung, dan jengkok tembakau masing-masing 0,65; 0,27; dan 0,31 g cm<sup>-3</sup>. Menurut Ammu and Anitha (2015), karakter biochar seperti bobot isi rendah, porositas dan kapasitas pegang air tinggi membuat biochar cocok untuk pengelolaan hara dan air. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki *bulk density* jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis (~0,3 Mg m<sup>-3</sup> untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah 1,3 Mg m<sup>-3</sup>) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi *bulk density* tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman.

## A. Sifat Bahan Baku

Biochar merupakan teknologi kuno yang muncul kembali dan dipandang sesuai untuk solusi pada kondisi perubahan iklim. Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik/ biomassa dengan bahan baku yang tersedia melimpah, mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Biochar memiliki dampak pada ketersediaan hara dalam tanah, baik sebagai unsur hara dan retensi hara. Abu di biochar berisi hara tanaman, sebagian besar bersifat basis seperti Ca, Mg dan K tetapi juga P dan mikronutrien termasuk seng, mangan.

Komposisi dan ketersediaan hara biochar tergantung pada sifat bahan baku dan kondisi pirolisis di mana biochar diproduksi. Selain biomassa tanaman, berbagai bahan organik termasuk limbah material seperti kotoran unggas dan lumpur limbah dapat dikonversi ke biochar menggunakan pirolisis. *Pyrolysis* adalah degradasi biomassa dengan panas dalam ketiadaan oksigen, yang menghasilkan produksi padat (biochar), produk cair dan gas. Pirolisis selulosa pada  $<300^{\circ}\text{C}$  melibatkan pengurangan berat molekul (dekarboksilasi), air, karbon dioksida (CO) dan karbon monoksida (CO), serta untuk biochar dapat memiliki hara yang sangat berbeda isi dan ketersediaan.

Untuk bahan baku yang sama, hasil biochar sangat tergantung pada kondisi di mana pirolisis dilakukan, yaitu suhu, kecepatan pemanasan, waktu pemanasan dan ukuran partikel (Shafizadeh, 1982; Demirbas dan Arin, 2002). Sementara itu dilaporkan bahwa hasil biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Perubahan yang kompleks dan berbagai biomassa selama pirolisis mempengaruhi baik komposisi dan struktur kimia biochar. Dengan implikasi pada kandungan hara dan khususnya ketersediaan hara bagi tanaman. Perubahan dalam komposisi biochar selama pirolisis bahan organik menggunakan teknik molekuler menunjukkan penurunan bertahap dalam jumlah OH dan  $\text{CH}_3$  dan peningkatan  $\text{C}=\text{C}$  dengan meningkatnya suhu ( $150 - 550^{\circ}\text{C}$ ), perubahan dari struktur C alifatik ke aromatik. Rasio H/C dan O/C biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Biochar mengandung materi abu yang dihasilkan pada suhu rendah dan juga memiliki konsentrasi yang jauh lebih besar daripada biochar pada suhu tinggi. Konversi C alifatik ke aromatik selama pirolisis menyebabkan penurunan tingkat mineralisasi C. Pengurangan mineralisasi C organik juga menunjukkan penurunan ketersediaan unsur hara dalam biochar yang terikat dalam struktur organik, seperti N, P dan S.

Porositas biochar secara signifikan meningkat antara  $400-600^{\circ}\text{C}$  dan dapat dikaitkan dengan kenaikan molekul air oleh *dehydroxylasi* bertindak sebagai pori dan aktivasi agen, sehingga menciptakan pori-pori yang sangat kecil (ukuran nanometer) di biochar (Bagreev *et al.*, 2001). Oleh karena itu, perbedaan dalam perubahan struktural sebagai fungsi suhu memiliki konsekuensi penting dalam hal luas

permukaan dan karakteristik biochar yang diproduksi di bawah kondisi yang berbeda. Perubahan ini, pada gilirannya, memiliki efek penting tidak langsung pada nilai hara biochar, misalnya, kemampuan retensi kation dan anion hara dari biochar tergantung pada kapasitas tukar kation dan kapasitas tukar anion.

Kapasitas tukar kation terbukti sangat rendah pada suhu rendah dan pirolisis meningkat secara signifikan pada suhu tinggi (Lehmann, 2007), yang perlu diuji lebih lanjut, biochar yang baru diproduksi telah terbukti kapasitas tukar kation rendah dibandingkan dengan bahan organik tanah (Cheng *et al.*, 2006, 2008, Lehmann, 2007). Di sisi lain, Kapasitas tukar anion baru diproduksi biochar signifikan pada pH rendah dan biochar memiliki titik tinggi muatan nol bersih (Cheng *et al.*, 2008).

### **Nitrogen**

Lang *et al.* (2005), memantau perubahan kandungan C, H, O, S dan N dari berbagai bahan organik, yaitu empat biomassa kayu, empat biomassa herba dan dua batubara di bawah pirolisis pada 275-1100°C. Semua jenis biomassa kehilangan setidaknya setengah dari N sebagai volatil dengan 400°C. Selama pirolisis limbah lumpur, kandungan N total menurun dari 3,8% pada 400°C dengan 0,94% pada 950°C karena kehilangan bahan organik yang mudah menguap (Bagreev *et al.*, 2001). Demikian pula Shinogi (2004), melaporkan reduksi N total di biochar dari lumpur limbah dari 5,0% pada 400°C menjadi 2,3% pada 800°C.

Studi dengan tanah pada 25°C dan kapasitas lapangan menunjukkan bahwa jumlah N mineral yang terdeteksi diabaikan bahkan setelah 56 hari. Hal ini menunjukkan bahwa N dalam lumpur limbah biochar adalah dalam bentuk yang sangat tahan terhadap dekomposisi dan mineralisasi.

### **Kation basa**

Yu *et al.* (2005), mempelajari bentuk kimia dan pelepasan K dan Na selama pirolisis jerami padi antara 400°C dan 1373°C. Antara 473°C dan 673°C, sekitar setengah dari kandungan logam total (masing-masing 48% dan 55% untuk K dan Na) hilang oleh pengupan, dan pada pemanasan lebih lanjut untuk 1373°C, kehilangan lebih lambat dan berjumlah ~ 70%. Sekitar 90% dari total K dalam jerami padi dalam bentuk yang larut dalam air dan karena itu tersedia bagi tanaman sebelum pirolisis: itu adalah bentuk K yang hilang ketika panas hingga 673°C. Dengan meningkatnya suhu (> 600°C), proporsi yang lebih besar dari K yang tersisa ditemukan dalam bentuk diekstrak tukar dan asam. Biochar dari pinus dan rumput yang diproduksi pada 625°C mengandung 15-20% O, dan menggunakan energi dispersif X-ray spektroskopi (EDS), menyimpulkan bahwa K dan Ca juga tersebar



dalam matriks biochar dan dapat terikat pada O di biochar sebagai ion *phenoxides* (yaitu K *phenoxides* atau sebagai diselingi K). Namun pemanasan lebih lanjut dengan suhu yang lebih tinggi menyebabkan kerugian lebih lanjut oleh penguapan, serta penggabungan K ke dalam struktur silikat, yang diharapkan akan jauh lebih mampu tersedia. Hasil ini didukung oleh temuan Shinogi (2004), yang melaporkan pengurangan K tersedia dari 14 sampai <1 persen selama pirolisis limbah lumpur, sedangkan konsentrasi K total dua kali lipat (0,51% pada 250°C menjadi 1,12% pada 600°C).

### **Sulphur**

Sebanyak 50% dari total S dari delapan jenis biomassa hilang selama pirolisis di 500°C (Lang *et al.*, 2005). Transformasi S selama pirolisis khas jerami gandum. Sebelum pirolisis, S ditemukan diasosiasikan sebagai sulfat anorganik (40-50% dari total S) dan sebagian sebagai protein (50-60%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa 35-50% dari total S dilepas ke fase gas selama pirolisis pada 400°C sebagai akibat dari dekomposisi termal organik S. Pada suhu yang lebih tinggi (500°C sampai 700°C), kandungan S biochar tidak berubah secara signifikan. Namun, bentuk S berubah di bawah sangat mengurangi kondisi-kondisi yang berlaku selama pirolisis, dengan hilangnya sulfat anorganik (menjadi 21,1% pada 500°C dan 3,1% pada 800°C) untuk konversi ke larut sulfida (misalnya CAS, K<sub>2</sub>S) dalam matriks biochar. Bentuk-bentuk S diharapkan menjadi larut air dan secara biologi kurang tersedia.

### **Fosfor**

Sedikit informasi yang tersedia tentang transformasi P selama pirolisis. Untuk limbah biochar lumpur, konsentrasi total P meningkat dengan meningkatnya suhu dari 5,6% pada 250°C menjadi 12,8% pada 800°C. Menurut Bridle dan Pritchard (2004), 100% pemulihan P diperoleh dalam biochar dihasilkan dari lumpur limbah pada 450°C, dibandingkan dengan 45% dari N, yang hilang selama prosedur yang sama. Namun, studi inkubasi di laboratorium menunjukkan bahwa ketersediaan P dalam biochar ini hanya 13% dari total P, jauh lebih rendah daripada yang dari biosolid dan pellet biosolid kering (30-40) (Pritchard, 2003). Menurut Bridle dan Pritchard (2004), hampir setengah dari total P di biochar adalah dalam bentuk HCl-diekstrak (yaitu sebagai Ca-terikat anorganik P) dan karena itu kurang tersedia bagi tanaman. Demikian pul, hasil Shinogi (2004), menunjukkan bahwa P tersedia (diukur sebagai sitrat-P terekstrak) di biochar dari lumpur limbah menurun dengan meningkatnya suhu, dari 0,98% pada 250°C sampai 0,06% pada 800°C, meskipun terjadi peningkatan jumlah P.

## 2.2.2. KARAKTERISTIK BIOCHAR

8

Biochar memiliki ketahanan yang tinggi terhadap dekomposisi dan demineralisasi karena karbon di dalam biochar dalam bentuk senyawa aromatik di mana 6 atom oksigen terikat dalam bentuk cincin tanpa oksigen atau hidrogen (Lehmann & Joseph, 2009). Resistensi biochar terhadap dekomposisi dan demineralisasi juga disebabkan terbentuknya senyawa "organo-mineral" di dalam biochar (Schmidt & Noack, 2000), serta struktur amorf (Lehmann *et al.*, 2009). Biochar merupakan karbon organik, tahan terhadap dekomposisi, sedikit bersifat alkali, tekstur berpori, halus, substansi yang menyerap. Memainkan peran penting dalam beragam proses biogeokimia, seperti reaksi adsorpsi (Schmidt dan Noack, 2000).

Biochar yang dihasilkan dari biomassa, terutama terdiri dari C organik stabil dengan kandungan hara mikro dan makro yang berasal dari bahan baku awal. Biochar dapat meningkatkan fraksi C stabil dalam tanah. C di biochar dalam bentuk aromatik yang tahan terhadap dekomposisi ketika ditambahkan sebagai amandemen tanah (Amonette dan Joseph, 2009), sehingga bermanfaat sebagai alat penyerapan C. Namun, komposisi biochar bervariasi menurut jenis bahan baku dan kondisi pirolisis (Downie, 2009). Kandungan C sebenarnya dapat berkisar antara 172g kg<sup>-1</sup> dan 905g kg<sup>-1</sup>. Kandungan nitrogen berkisar dari 1,8 kg<sup>-1</sup> untuk 56.4g kg<sup>-1</sup>, jumlah P dari 2.7g kg<sup>-1</sup> dan 480g kg<sup>-1</sup>, jumlah kalium (K) dari 1.0 g kg<sup>-1</sup> hingga 58 g kg<sup>-1</sup> (Chan *et al.*, 2007; Lehmann *et al.*, 2003, Lima dan Marshall., 2005). Biochar juga mengandung berbagai konsentrasi elemen lain seperti Oksigen (O), Hidrogen (H), N, Sulfur, P, kation basa, dan logam berat (Goldberg, 1985; Preston dan Schmidt, 2006). Biochar yang baru diproduksi terdiri dari fase kristal dengan lapisan graphene dan fase amorf struktur aromatik (Lehmann *et al.*, 2005). Permukaan luar mengandung berbagai kelompok fungsional O dan H dan lembaran graphene mungkin berisi kelompok O dan radikal bebas (Bourke *et al.*, 2007). Selain itu, biochar telah diproduksi dengan berbagai nilai pH antara 4 dan 12, tergantung pada bahan baku awal dan kondisi operasi (Lehmann, 2007). Umumnya, suhu pirolisis rendah (<400 °C) menghasilkan biochar asam, sementara meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan biochar alkali. Setelah dimasukkan ke dalam tanah, terjadi oksidasi permukaan karena reaksi air, O<sub>2</sub> dan berbagai agen tanah (Cheng *et al.*, 2006; Lehmann, 2007). Kapasitas tukar kation (KTK) biochar segar biasanya sangat rendah, tetapi meningkat dengan waktu sebagai umur biochar dengan adanya O<sub>2</sub> dan air (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2006).

Perubahan dari biomassa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO<sub>2</sub>, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama.

Kondisi ini dapat mengawetkan karbon dan nitrogen organik sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keuntungan dan efisiensi usahatani.

Karakteristik biochar selain ditentukan oleh bahan bakunya, juga ditentukan oleh proses pirolisis. Suhu, tekanan parsial  $O_2$ , uap, dan karbon dioksida ( $CO_2$ ) mengontrol jumlah abu mineral dalam biochar (Bridgwater dan Boocock, 2006). Selama degradasi termal, ion yang sangat mobile (K dan Cl) akan mulai menguap pada suhu yang relatif rendah (Yu *et al.*, 2005). Kalsium (Ca) terutama terletak di dinding sel dan terikat dengan asam organik. Ion Ca dan Si dilepaskan selama degradasi pada suhu yang lebih tinggi dari K dan Cl (Bourke *et al.*, 2007). Magnesium (Mg) baik ionic maupun kovalen terikat dengan molekul organik dan hanya menguap pada temperatur tinggi. Fosfor (P) dan sulfur (S) berhubungan dengan senyawa organik kompleks di dalam sel dan relatif stabil pada suhu rendah. Kadar nitrogen dikaitkan dengan sejumlah molekul organik yang berbeda dan dapat dilepaskan pada suhu relatif rendah (Schnitzer *et al.*, 2007).

Bahan baku dan kondisi pirolisis (suhu, waktu, dan lain lain) dapat mempengaruhi stabilitas dan kandungan unsur hara (Gaskin *et al.*, 2008). Peningkatan P total yang tinggi (151%) menunjukkan bahwa P tidak menguap pada suhu tinggi yang dihasilkan selama produksi arang (Oguntunde *et al.*, 2004). Biochar kayu yang terbentuk di bawah kondisi alam, karbon (C) mulai menguap sekitar 100 °C, N di atas 200 °C, S di atas 375 °C, dan kalium (K) dan P antara 700 °C dan 800 °C. Volatilisasi dari Magnesium (Mg), kalsium (Ca) dan mangan (Mn) terjadi pada suhu atas 1000 °C. Selama karbonisasi, sebagian jumlah N yang hilang dalam bentuk gas amonia namun bahan arang yang dihasilkan dengan P tersedia lebih tinggi sampai 5 kali dibandingkan dengan limbah asal (Tagoe *et al.*, 2008).

Hasil penelitian Hadi *et al.* (2006), pada suhu 505 °C pembuatan arang sampah kota selama 5 jam dengan reaktor pirolisis menunjukkan kualitas terbaik dibandingkan suhu 350, 355, 375, 405, 510 °C. Daya jerap arang tertinggi terhadap larutan iodin 379,80 mg/g dan terhadap uap benzena 12,37%. Tingginya daya jerap dimungkinkan oleh permukaan pori yang terbuka akibat suhu tinggi. Struktur topografi permukaan arang memperlihatkan pembentukan pori-pori yang makin besar dengan naiknya suhu karbonisasi.

Berbeda dengan biochar kaya karbon (C)-organik, pembakaran biomassa dalam api menciptakan abu, yang terutama mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbonat anorganik. Juga, dalam kebakaran besar, kecil bagian dari vegetasi ini hanya sebagian dibakar dengan suplai  $O_2$  terbatas, dan sisanya sebagai biochar kotoran ayam mengandung N, P dan S (Sharpley *et al.*, 1993). Lebih lanjut dilaporkan oleh Tagoe *et al.*, (2008), biochar pupuk kandang

ayam dan biochar sampah organik kota mengandung unsur hara makro yang tinggi terutama N dan P serta unsur hara mikro yang tersedia bagi akar tanaman dan biota tanah.

Jengkok tembakau yang diolah dengan proses *pyrolysis* menghasilkan biochar yang telah memenuhi syarat sebagai bahan pembenah dan atau pupuk organik tanah sesuai dengan Permentan No. 70 tahun 2011. Bahkan  $K_2O$  memiliki kadar 3,66% jauh lebih tinggi daripada SNI19-7030-2004 tentang standard kualitas kompos yang hanya 0,2%. Kadar cemaran logam juga di bawah ambang batas maksimal Permentan dan SNI. Kandungan NPK biochar dari material jengkok tembakau juga lebih tinggi dibandingkan kayu, cangkang kelapa, dan sekam padi pada penelitian yang dilakukan oleh Widowati *et al.*, (2014).

Ada peningkatan kekhawatiran terkait dengan kontaminan yang disimpan dalam biochar dan pencucian ke dalam tanah setelah ditambahkan sebagai amandemen, namun ini tergantung pada asal-usul bahan baku, pirolisis dan proses konversi. Biochar dapat mengandung kontaminan seperti logam berat dan senyawa organik, tetapi umumnya terkait dengan limbah lumpur, atau bahan baku kayu dan kemungkinan tidak akan menjadi masalah jika dihasilkan dari biomassa hutan. Kontaminan yang terkandung dalam bahan baku bisa mengalami perubahan selama proses pirolisis dan dihancurkan atau diubah menjadi senyawa yang tidak berbahaya, sementara yang lain dapat disimpan dalam biochar dan berpotensi merugikan jika ditambahkan ke tanah. Selain itu, beberapa kontaminan (misal *hydrocarbon polycyclic aromatic*) dapat terbentuk selama pirolisis. *Hydrocarbons polycyclic aromatic* (PAH) dapat dibentuk dari setiap bahan baku karbon, tetapi konsentrasi tergantung bahan baku. Dengan demikian, penting untuk memahami komposisi kimia dari bahan baku dan biochar untuk menghindari konsekuensi terhadap lingkungan yang potensial sebelum menambahnya ke tanah.

Amendemen tanah dengan biochar dari berbagai bahan baku akan mengakibatkan efek pada sifat-sifat tanah dan efek berikutnya pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Suhu dan laju pemanasan proses pirolisis juga memiliki efek penting pada sifat fisik maupun kimia dari biochar yang dihasilkan (Amonette dan Joseph, 2009; Downie *et al.*, 2009), yang akan berdampak pada sifat tanah (Gaskin *et al.*, 2008). Bahan baku seperti kotoran unggas dapat menyebabkan biochar dengan pH tinggi dan kandungan P, sementara lumpur limbah dapat menghasilkan biochar dengan N tinggi dan konsentrasi logam berat. Vegetasi segar, kayu atau kulit dapat membuat biochar dengan pH netral, dan konsentrasi hara yang mencerminkan konsentrasi bahan baku (Chan dan Xu, 2009). Gaskin (2010), membandingkan biochar yang berasal dari kulit kacang atau serpihan kayu, dan menemukan biochar kulit kacang biochar memiliki konsentrasi unsur hara yang lebih tinggi dan menaikkan



pH dan konsentrasi kation dasar ketika ditambahkan ke tanah, sementara biochar serpihan kayu tidak banyak berpengaruh pada parameter ini. Dari data terbatas yang tersedia, tidak ada jenis biochar yang diaplikasi dengan kisaran optimum, yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2002). Sangat mungkin bahwa aplikasi biochar tingkat optimum akan bervariasi dan perlu ditentukan untuk setiap jenis tanah dan spesies tumbuhan.

#### **Porositas dan Luas Permukaan Biochar**

Porositas dan luas permukaan adalah karakteristik penting dari biochar. Pori-pori yang lebih besar di biochar adalah hasil dari struktur vaskular biomassa asli. Namun, pori nano kecil yang memberikan kontribusi besar ke daerah permukaan biochar itu, hasil dari kondisi suhu tinggi yang digunakan selama pirolisis (Brewer *et al.*, 2009). Biochar dapat memiliki berbagai macam bidang permukaan tergantung pada kondisi bahan baku dan pengolahan, tetapi biasanya biochar switchgrass berkisar 7-50 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> dan biochar pinus berkisar dari <10-400 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Brown *et al.*, 2006; Brewer *et al.*, 2009). Luas permukaan tanah berkisar 0,01 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> untuk pasir kasar dan 750 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> untuk kaolinit tanah liat, yang berarti adalah mungkin mengaplikasikan biochar terutama di tanah berpasir untuk meningkatkan luas permukaan keseluruhan (Downie *et al.*, 2009).

Pada pirolisis suhu lebih tinggi, struktur C alifatik diubah menjadi struktur C aromatik, sehingga lebih banyak pori mikro dan luas permukaan yang umumnya lebih besar di biochar yang dihasilkan (Brewer *et al.*, 2009). Sebaliknya, telah dilaporkan bahwa menurunnya luas permukaan dapat terjadi dengan pirolisis suhu tinggi dan tingkat pemanasan tinggi (Lua *et al.*, 2004). Lua *et al.*, (2004) menemukan bahwa ketika suhu pirolisis meningkat 500-800 °C, dan dengan peningkatan waktu reaksi, luas permukaan menurun. Fenomena ini terjadi lebih sering dengan abu tinggi dan mungkin akibat dari penguapan parsial abu atau komponen biomassa lainnya membentuk "meleleh menengah", yang menutup pori-pori dan mengurangi luas permukaan (Lua *et al.*, 2004).

#### **Karakteristik Jenis Biochar dan Pupuk Organik**

Tiga jenis biochar dari biomassa (sekam padi dan tongkol jagung) diproduksi pada suhu 350-500 °C selama 4 jam dengan alat pirolisis *fixed bed* di Laboratorium Bioenergi Universitas Tribhuwana Tungadewi. Biochar dari limbah industri tembakau diproduksi pada suhu 700 °C selama 15 menit di PT. Gudang Garam, Tbk dengan alat pirolisis *extrusion* Etia. Sekam padi kering dari penggilingan padi komersial, tongkol jagung kering dari PT. Bisi Internasional Kediri. Biochar tongkol jagung digiling dengan ukuran < 2 mm, biochar limbah industri tembakau



(jengkok) dan sekam padi langsung diterapkan pada tanah. Pupuk organik yang digunakan kompos (sampah kota) dan pupuk kandang kotoran ayam (pukan). Kompos diambil dari Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Desa Mulyoagung Kecamatan Dau Kabupaten Malang. Pukan diambil dari peternakan PT. Java Comfeed di Kabupaten Malang. Karakterisasi biochar dilakukan dengan mengukur sifat fisika yang menggunakan prosedur standar. Sifat fisik seperti bulk density (FCO, 1985), daya pegang air dengan metode AOAC 19<sup>th</sup> Ed, 2012, method 969.05; total C dengan metode gravimetri, ukuran partikel (ASTM) dengan mechanical. Pupuk organik dianalisis dengan prosedur standar.

Karakteristik fisik dari tiga jenis biochar dan dua jenis pupuk organik disajikan pada Tabel 2 merupakan materi yang digunakan pada kajian ini. Total karbon biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam. Karbon organik dari pupuk kandang kotoran ayam > kompos. Kadar karbon terendah dan abu tertinggi pada biochar sekam padi, sebaliknya kadar karbon tertinggi dan abu terendah pada biochar tongkol jagung. Hal ini sejalan dengan Enders *et al.* (2012), bahwa kandungan abu yang relatif tinggi yang dihasilkan biochar karbon fixed relatif rendah, yang disebabkan oleh kadar abu yang tinggi menghambat pembentukan karbon. Ada yang signifikan ( $p < 0,05$ ) pengaruh bahan baku dan suhu pada sifat agronomi dari biochar. Kadar abu pada penelitian ini (24 -53%) yang memiliki kisaran yang sama seperti yang dilaporkan Muhammad *et al.*, (2014) yaitu kadar abu biochar berkisar antara 25-52% dan kadar abu secara signifikan ( $P < 0,05$ ) meningkat dengan meningkatnya suhu. Suhu pirolisis dan bahan baku memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat kimia dari biochar.

Kapasitas menahan air tergantung dari biochar maupun pupuk organik. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Kadar karbon terendah dan abu tertinggi pada biochar sekam padi, sebaliknya kadar karbon tertinggi dan abu terendah pada biochar tongkol jagung. Hal ini sejalan dengan Enders *et al.* (2012), bahwa kandungan abu yang relatif tinggi yang dihasilkan biochar karbon fixed relatif rendah, yang disebabkan oleh kadar abu yang tinggi menghambat pembentukan karbon. Ada yang signifikan ( $p < 0,05$ ) pengaruh bahan baku dan suhu pada sifat agronomi dari biochar. Kadar abu pada penelitian ini (24 - 53%) yang memiliki kisaran yang sama seperti yang dilaporkan Muhammad *et al.* (2014) yaitu kadar abu biochar berkisar antara 25-52% dan kadar abu secara signifikan ( $P < 0,05$ ) meningkat dengan meningkatnya suhu. Suhu pirolisis dan bahan baku memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat kimia dari biochar. Kapasitas menahan air tergantung dari biochar maupun pupuk organik. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam >

biochar jengkok tembakau > kompos.

Tanggapan positif dari aplikasi biochar tidak hanya berhubungan dengan nutrisi tanaman termasuk netralisasi toksin (Wardle *et al.*, 1998); memperbaiki sifat fisik tanah (misalnya peningkatan kapasitas menahan air) (Iswaran *et al.*, 1980) atau mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Kapasitas menahan air dari biochar maupun pupuk organik tergantung dari bahan baku biomassa. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010) menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

*Bulk density* biochar sekam padi, tongkol jagung, dan jengkok tembakau masing-masing 0,65; 0,27; dan 0,31 g cm<sup>-3</sup>. Menurut Ammu and Anitha (2015), karakter biochar seperti bobot isi rendah, porositas dan kapasitas pegang air tinggi membuat biochar cocok untuk pengelolaan hara dan air. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki *bulk density* jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis (~ 0,3 Mg m<sup>-3</sup> untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah 1,3 Mg m<sup>-3</sup>) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi *bulk density* tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman.

Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010), menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Beberapa macam ukuran pori biochar lebih tinggi daripada ukuran pori pupuk organik (Tabel 2). Mesh ukuran butiran 30 dan 18 dari biochar jengkok lebih besar dari biochar tongkol tetapi mesh 325 dan diatas 60 dari biochar jengkok lebih kecil dari biochar tongkol. Ukuran partikel dari biochar dihasilkan dari pirolisis bahan organik yang tergantung pada sifat dari bahan asli. Karakteristik fisik dan kimia dari biochar dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan baku dan kondisi pirolisis, seperti suhu dan waktu tinggal dalam tungku (Gaskin *et al.*, 2008). Keiluweit *et al.* (2010), melaporkan porositas meningkat (dan maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang. *Volatil matter* dari biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam padi.

### Suhu Pirolisis

Kandungan unsur hara total dari biochar rata-rata rendah dengan suhu pirolisis, jenis dan interaksi, selama rentang bahan baku biochar. Secara umum,

meningkatnya suhu pirolisis meningkatkan konsentrasi unsur hara total. Peningkatan suhu pirolisis biasanya menyebabkan hilangnya sifat mudah terurai seperti senyawa volatil dan elemen (misalnya, O, H, N, S) dan dengan demikian unsur hara lain yang terkonsentrasi di biochar, termasuk C, Ca, Mg dan K. Bahkan, peningkatan konsentrasi unsur hara, seperti C, dengan meningkatnya suhu pirolisis sering dikaitkan dengan kerugian H dan O dari biochar (Antal dan Gronli., 2003). Selanjutnya, selama pirolisis terjadi serangkaian reaksi pembelahan dan polimerisasi yang mengakibatkan penciptaan struktur C tetap stabil, yang secara langsung berkaitan dengan peningkatan konten C biochar. Untuk mendukung fakta-fakta ini, telah dilakukan teknik C fraksionasi berurutan, mencatat bahwa mayoritas C biochar tetap dalam bentuk non labil (tidak tersedia untuk degradasi mikroba). Namun, ketersediaan C tergantung dengan suhu pirolisis yang lebih tinggi yang terkait dengan C non-labil yang lebih besar.

Selain itu, suhu yang lebih besar bisa menimbulkan efek konsentrasi karena hilangnya unsur-unsur lain oleh penguapan. Sebagai contoh, tampak bahwa kadar N total mencapai tingkat maksimum antara 300 sampai 399 °C dan menurun pada suhu yang lebih besar. Cantrell *et al.* (2012), mengamati respon yang sama di kotoran hewan. Koutcheiko *et al.* (2007), menemukan respon yang sama, berpotensi hilangnya N yang mengandung rantai amino alifatik yang dilepaskan pada saat pemanasan yang lebih besar. Rugi konten P total dengan meningkatnya suhu pirolisis juga telah diamati. Senyawa yang mengandung P dapat menguap dekat 760 °C, yang menjelaskan penurunan kandungan P saat bahan baku dipirolisis pada temperatur yang lebih besar dari 800 °C.

Tabel 1. Karakteristik biochar, biomassa, dan pupuk organik

Cc	Biochar, biomassa, dan pupuk organik							
	Char sekam padi (S)	Sekam padi	Char tongkol jagung (T)	Tongkol jagung	Char jengkok tembakau (J)	Jengkok tembakau	Pupuk kandang kotoran ayam (A)	Kompos (K)
Kapasitas Pegang Air (%)	326,04		249,6		143,7		213,38	111,68
Bulk Density (gm/cm <sup>3</sup> )	0,65		0,27		0,31			
Ukuran Partikel (%)								

- Mesh 325 (0,044 mm)	2,7		0,8		0,55		0,15	0,2
- Mesh >60 (0,250 mm)	16,75		14,25		4,9		3,05	7,6
- Mesh Ukuran Butiran 30 (0,595 mm)	42,6		54,2		79,9		10,55	22
- Mesh 18 (1,00 mm)	68,15		70,8		94,9		20,95	36,2
pH (H <sub>2</sub> O 1:2,5)	9,44	4,30	9,46	5,10	8,91	5,60	6,00	7,30
Total C (%)	29,8		45,6		40			
C organik (%)		30,08		34,24		22,56	25,02	15,58
Ec (mili siemens)	2,56		4,67		16,45		12,65	1,31
CEC cmol kg <sup>-1</sup>	19,53		40,12		34,62			
KTK me 100 g <sup>-1</sup>							37,78	59,03
Abu (%) (Ash)	53,4		23,6		32,8			
N (%)	0,57	0,92	0,51	0,84	1,83	2,45	4,05	2,60
P (%)	0,14	1,75	0,46	0,35	0,44	2,19	11,62	3,87
K (%)	1,71	0,25	3,96	0,68	5,15	0,38	0,29	0,04
S, SO <sub>4</sub> (%)	0,22		0,41		0,42		0,36	0,29
Na (%)	0,33	0,35	1,63	0,39	1,83	2,32	1,81	1,77
Ca (%)	0,92	0,63	2,45	0,44	3,88	1,45	1,69	1,94
Mg (%)	0,03	0,23	0,28	0,06	0,36	0,73	0,35	0,44
Mn (%)	0,08		0,03		0,04		0,04	0,04



Pengaruh suhu pirolisis dari total kandungan unsur hara biochar berbeda tergantung pada panjang periode pirolisis. Lebih khusus, meningkatnya suhu selama pirolisis lambat akan cenderung terkonsentrasi dan dengan demikian meningkatkan kandungan unsur hara total (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan dengan pirolisis cepat. Namun, telah menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan pirolisis lambat, pirolisis cepat dapat mengakibatkan konversi lengkap dari C ke bentuk yang lebih stabil (Bruun *et al.*, 2012). Dengan demikian, adalah mungkin bahwa total C dalam biochar pirolisis akan cepat lebih mudah dimineralisasi.

Biochar mengandung sejumlah unsur anorganik, namun pasokan unsur hara tersedia bisa sangat bervariasi (Liu *et al.*, 2012). Sebuah penelitian yang dilakukan pada tahun 2012, di mana keduanya dianalisa unsur hara tersedia dan total telah dilaporkan dan mendukung anggapan ini. Tidak ada hubungan antara P tersedia dan P total ( $r^2 = 0,05$ ) di berbagai biochar yang dilaporkan. Sebaliknya, antara 55 dan 65% dari K, Mg dan Ca tersedia dari biochar dapat berhubungan dengan konsentrasi total. Hal ini segera jelas bahwa konsentrasi total elemental tidak bisa akurat untuk memprediksi kandungan unsur hara yang tersedia di biochar, ada faktor-faktor lain seperti kondisi pirolisis mempengaruhi unsur hara yang hilangmaupun yang dipertahankan.

Meskipun kadar N total dari biochar berkisar 0,09-3,3%, literatur telah melaporkan bahwa jumlah N tersedia sebagai nitrat ( $\text{NO}_3$ ) diabaikan. Bahkan, persentase yang tersedia N dibandingkan dengan total dalam semua kasus adalah <0,01%. Konsentrasi N rendah diekstrak (sebagai  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ) di biochar paling sering diamatikan dapat disebabkan kehilangan gas N selama pirolisis (Amonette dan Joseph, 2009). Pada suhu pirolisis <760°C, ketersediaan P kemungkinan dikendalikan oleh kation terkoordinasi (Al, Fe, Ca, Mg) dan tergantung pada bahan baku (T. Wang *et al.*, 2012). Dalam kasus biochar, kemungkinan P akan terkait dengan Ca dan Mg karena biochar pH tinggi, dengan beberapa senyawa ini dalam bentuk tersedia. P tersedia berkisar 0,4-34% dari total P di biochar. Kalium juga biasanya terkonsentrasi dalam biochar dan cenderung sangat tersedia. Cantrell *et al.* (2012) menunjukkan bahwa konsentrasi K total (dalam kombinasi dengan Na) adalah prediktor penting dari konduktivitas listrik biochar, atau jumlah garam yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk K di biochar adalah larut dalam air. Ketersediaan kalium berkisar 3,5-100% dari total K.

### **Fisik Biochar**

Karakteristik fisik biochar baik secara langsung maupun tidak langsung berhubungan dengan cara di mana biochar mempengaruhi sistem tanah. Tanah memiliki sifat fisik yang berbeda tergantung pada sifat mineral dan bahan organik,



jumlah relatif mineral dan bahan organik dan cara di mana mineral dan bahan organik berhubungan (Brady dan Weil, 2008). Ketika biochar diterapkan dalam tanah, kontribusinya terhadap sifat fisik mungkin signifikan mempengaruhi kedalaman, tekstur, struktur, porositas dan konsistensi melalui perubahan luas permukaan, ukuran distribusi pori, distribusi ukuran partikel, kepadatan dan kemasaman. Efek biochar pada sifat fisik tanah memiliki dampak langsung terhadap pertumbuhan tanaman karena kedalaman penetrasi dan ketersediaan udara dan air dalam zona akar. Biochar secara langsung akan mempengaruhi respon tanah untuk air, agregasi, kinerja selama persiapan tanah, dinamika mengembang-menyusut, permeabilitas, serta kapasitasnya untuk mempertahankan kation dan responnya terhadap perubahan suhu lingkungan. Selain itu, secara tidak langsung, kesuburan tanah secara kimia dan biologi dapat dihasilkan dari sifat fisik, seperti presentase fisik untuk reaksi kimia dan penyediaan habitat pelindung untuk mikroba tanah (Brady dan Weil, 2008).

#### **Asal Struktur Biochar**

Karakteristik fisik biochar tidak hanya tergantung pada bahan organik (biomassa), tetapi juga sistem karbonisasi atau pirolisis (termasuk pra dan pasca-penanganan biomassa dan biochar). Tingkat perubahan struktur asli biomassa melalui penataan ulang struktur mikro selama pemrosesan dan pembentukan retak. Biochar adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada karbon tinggi yang terbentuk sebagai hasil dari *pyrolysis* bahan organik, material dapat berasal dari beragam bahan biomassa. Struktur asli sebagian besar jenis bahan dicantumkan pada produk biochar dengan demikian, memiliki pengaruh pada karakteristik akhir fisik dan struktural. Selama *pyrolysis*, massa hilang (sebagian besar dalam bentuk organik yang mudah menguap) dan jumlah proporsional penyusutan atau pengurangan volume yang terjadi. Oleh karena itu, selama konversi termal, kerangka mineral dan C dibentuk untuk mempertahankan porositas dan struktur dari bahan asli. Pori-pori berukuran besar berfungsi sebagai feeder untuk pori-pori lebih rendah (pori meso dan mikro). Komposisi kimia dari bahan baku biomassa memiliki dampak langsung pada sifat fisik dari biochar yang dihasilkan. Pada suhu di atas 120°C, bahan organik mulai mengalami dekomposisi termal dan kehilangan kelembaban. Hemiselulosa terdegradasi pada suhu 200-260°C, cellulose pada 240-350°C, dan lignin pada 280-500°C. Proporsi komponen anorganik (abu) juga memiliki implikasi untuk struktur fisik.

### Karakteristik Struktural

Struktur biochar dapat mempengaruhi beberapa karakteristik kualitasnya. Porositas dan permukaan bidang biochar sangat penting dan memiliki peran besar dalam menentukan potensi penggunaan akhir. Struktur makro awal bahan baku adalah sama dengan yang dihasilkan pada biochar dan terutama terjadi untuk bahan tanaman yang tinggi selulosa (Sohi *et al.*, 2010). Pirolisis menghilangkan senyawa, struktur makro dari biomassa sebagian besar dipertahankan dalam biochar itu. Namun, stres struktural menyebabkan retakan di struktur makro, dan keluarnya gas volatil yang menyebabkan pori-pori kecil dan terbuka di bahan (Downie *et al.*, 2009).

Luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara (Downie *et al.*, 2009; Sohi *et al.*, 2010). Bagreev *et al.* (2001), menggambarkan bahwa peningkatan porositas dan luas permukaan biochar terkait dengan suhu pirolisis. Boateng (2007), menemukan bahwa luas permukaan biochar dihasilkan dari *switchgrass* rendah; mulai 7,7-7,9 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. Penelitian lain melaporkan hasil awal yang sama, tetapi kemudian menunjukkan bahwa luas permukaan biochar meningkat karena suhu pirolisis meningkat dari 400 sampai 950 °C (masing-masing 41-99 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) (Bagreev *et al.*, 2001). Keiluweit *et al.* (2010), menunjukkan kecenderungan umum dari luas permukaan meningkatnya biochar dengan meningkatnya suhu pirolisis. Keiluweit *et al.* (2010), juga menggambarkan bahwa porositas meningkat (dan maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang.

Sementara mekanisme kapasitas tanah memegang air meningkat dengan biochar adalah tidak dipahami dengan baik, hal ini juga diketahui bahwa luas permukaan partikel tanah sangat mempengaruhi memegang kapasitas memegang air; pasir memegang sedikit air dan tanah liat memegang banyak. Biochar yang ditambahkan ke tanah untuk meningkatkan luas permukaan dapat berdampak pada kapasitas memegang air. Meskipun umumnya biochar cenderung meningkatkan kapasitas adsorpsi air dan tingkat infiltrasi beberapa tanah, beberapa peneliti telah melaporkan bahwa beberapa biochar diproduksi pada suhu rendah 400 °C.

Kondisi pirolisis pada suhu rendah juga dapat menghasilkan biochar yang cocok untuk digunakan sebagai hidrofobik, yang dapat membatasi efektivitasnya untuk menyimpan air dan pengganti pupuk. Sementara biochar yang dibuat pada suhu tinggi akan lebih baik/ cocok untuk kegiatan adsorpsi seperti mengurangi kontaminasi logam berat dalam tanah (Sohi *et al.*, 2010). Sebaliknya, Boateng (2007) menunjukkan bahwa biochar yang diproduksi pada 480 °C memiliki adsorpsi karakteristik rendah tanpa aktivasi lebih lanjut. Selain itu, telah ditemukan bahwa

biochar diproduksi pada suhu rendah yang rapuh dan rentan terhadap abrasi. Oleh karena itu porositas dan luas permukaan biochar tidak dapat mempengaruhi kualitas produk dalam jangka panjang.

#### Luas Permukaan Tanah dan Biochar

Karakteristik luas permukaan tanah sangat penting karena mempengaruhi semua fungsi untuk kesuburan, termasuk air, udara, siklus unsur hara, dan aktivitas mikroba. Keterbatasan kapasitas tanah berpasir untuk menyimpan air dan unsur hara tanaman sebagian berhubungan dengan luas permukaan yang relatif kecil dari partikel tanah. Pasir kasar memiliki permukaan spesifik yang sangat rendah sekitar  $0.01\text{m}^2\text{g}^{-1}$ , dan pasir halus sekitar  $0.1\text{m}^2\text{g}^{-1}$ . Lempung memiliki permukaan spesifik relatif besar dari  $5\text{m}^2\text{g}^{-1}$  untuk kaolinit dan sekitar  $750\text{m}^2\text{g}^{-1}$  untuk montmorillonit. Tanah yang sebagian besar mengandung liat memiliki kapasitas menahan air tinggi tetapi aerasi yang cukup. Kadar bahan organik tinggi telah dibuktikan untuk mengatasi masalah terlalu banyak air pada tanah liat, dan juga meningkatkan kadar air dalam tanah berpasir. Ada indikasi yang sama biochar mengubah sifat fisik tanah, dalam hal ini memiliki banyak manfaat yang sama dengan amandemen organik lainnya (Chan *et al.*, 2007). Luas permukaan spesifik biochar yang umumnya lebih tinggi daripada pasir dan sebanding dengan atau lebih tinggi dari tanah liat, karena itu akan menyebabkan kenaikan bersih total permukaan spesifik tanah ketika ditambahkan sebagai amandemen.

Pengaruh biochar pada populasi mikroba dalam tanah. Biomassa mikroba tanah umumnya meningkat dengan meningkatnya kandungan liat di bawah kondisi lapangan dan laboratorium. Respon ini umumnya dikaitkan dengan peningkatan permukaan (Juma, 1993). Luas permukaan yang lebih tinggi dari tanah bertekstur lebih halus dapat mengakibatkan peningkatan kadar air total dan perlindungan fisik membaik. Percobaan biochar telah dikaitkan dengan peningkatan struktur tanah atau aerasi tanah di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

#### Distribusi Ukuran Partikel

Ukuran partikel dari biochar yang dihasilkan dari pirolisis bahan organik sangat tergantung pada sifat dari bahan asli. Susut dan gesekan selama pirolisis serta ukuran partikel dari bahan baku bahan organik cenderung lebih besar daripada biochar yang dihasilkan. Dalam beberapa kasus, partikel dapat menggumpal, sehingga peningkatan ukuran partikel juga ditemukan. Tergantung pada intensitas mekanik dari teknologi pirolisis yang digunakan, tingkat gesekan dari partikel biomassa yang terjadi selama pemrosesan. Hal ini terutama berlaku dalam penanganan pasca bahan sebagai biochar secara signifikan lebih remah dibanding biomassa asli.

Biochar berasal dari serbuk gergaji dan serpihan kayu dengan pra perlakuan yang berbeda, menghasilkan ukuran partikel yang kontras. Proses pirolisis, melalui energi terus menerus lambat (tingkat pemanasan  $5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$  hingga  $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ ) mengakibatkan peningkatan proporsi partikel dalam distribusi ukuran yang lebih kecil untuk kedua bahan baku, yang diukur dengan pengayak kering. Hal ini juga dapat dilihat sebagai HTT pirolisis meningkat ( $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ukuran partikel cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan oleh penurunan kekuatan tarik materi seperti yang lebih lengkap bereaksi, sehingga kurang tahan terhadap gesekan selama pemrosesan.

### Kepadatan Biochar

Dua jenis kepadatan biochar: kepadatan padat dan kepadatan massal/nyata. Kerapatan padat adalah densitas pada tingkat molekuler, terkait dengan tingkat dari struktur C. Densitas adalah bahan yang terdiri dari beberapa partikel dan termasuk porositas makro dalam setiap partikel dan rongga antar partikel. Seringkali, peningkatan kepadatan padat disertai dengan penurunan kepadatan massal sebagai porositas yang berkembang selama pirolisis. Hubungan antara dua jenis kepadatan, yang melaporkan bahwa kepadatan massal meningkat dengan perkembangan porositas 8,3-24% pada suhu pirolisis hingga  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Guo dan Lua, 1998). Namun, ketika temperatur meningkat sampai  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kepadatan massal biochar meningkat dan porositas menurun. Hubungan terbalik antara kerapatan padat dan massal juga ditunjukkan oleh untuk biochar *eucalyptus* diproduksi dalam tungku kontinyu memiliki kedua nilai terendah kepadatan massal dan tertinggi nilai kerapatan padat.

Kepadatan maksimum C di biochar telah dilaporkan berada diantara  $2.0\text{ g cm}^{-3}$  dan  $2.1\text{ g cm}^{-3}$  berdasarkan pengukuran sinar-X. Nilai-nilai tersebut hanya sedikit di bawah kepadatan grafit padat  $2.25\text{ g cm}^{-3}$ . Kepadatan paling kokoh biochar, bagaimanapun, adalah secara signifikan lebih rendah dari grafit karena porositas residu dan struktur turbostratik dengan nilai-nilai khas sekitar  $1.5 - 1.7\text{ g cm}^{-3}$ . Nilai yang lebih rendah seperti dari biochar kayu pinus yang dikumpulkan dari situs kebakaran alami di  $1.47\text{ g cm}^{-3}$ . Biochar diaktifkan untuk menghasilkan porositas mikro untuk adsorpsi gas lebih padat dibandingkan jika biochar dioptimalkan untuk menghasilkan porositas meso dan makro untuk pemurnian cairan.

Kepadatan dari biochar tergantung pada sifat bahan awal dan proses pirolisis. Kepadatan biochar meningkat dengan meningkatnya proses suhu dan lama pemanasan. Jumlah yang lebih rendah dari volatil, yang memiliki berat molekul rendah dari fixed C, dan kandungan abu rendah menghasilkan kepadatan tinggi padat di biochar (Jankowska *et al.*, 1991). Namun, Brown *et al.* (2006) menunjukkan



kepadatan yang independen laju pemanasan dan langsung tergantung kepadatan pada suhu akhir pirolisis.

*Bulk density* juga merupakan fitur fisik penting dari biochar. Kepadatan sebagian besar biochar terbuat dari berbagai jenis kayu olahan dalam berbagai jenis kiln tradisional berkisar antara 0,30 - 0,43 g cm<sup>-3</sup>. Nilai densitas diberikan dalam literatur untuk karbon aktif yang digunakan untuk rentang adsorpsi gas dari 0,40 - 0,50 g cm<sup>-3</sup>, sedangkan untuk karbon aktif yang digunakan untuk *decolourization*, kisaran adalah 0,25 g cm<sup>-3</sup> untuk tambahan 0,75 cm<sup>-3</sup>.

### Karakteristik Biologi Biochar

Menurut Thies and Rillig (2009), penelitian di Jepang dan di AS telah menunjukkan bahwa biochar merangsang aktivitas berbagai mikroorganisme tanah pertanian dan sangat mempengaruhi mikrobiologis dalam mengikat tanah (Pietikäinen *et al.*, 2000). Kehadiran dan ukuran distribusi pori-pori di biochar menyediakan habitat yang cocok bagi banyak mikroorganisme dengan melindungi dari predator dan pengeringan dan menyediakan beragam (C), kebutuhan energi dan mineral (Saito dan Muramoto, 2002; Warnock *et al.*, 2007). Kepentingan menggunakan biochar untuk meningkatkan kesuburan tanah, banyak studi ilmiah yang dilakukan untuk lebih memahami bagaimana biochar mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah dan kesesuaian sebagai habitat mikroba. Karena organisme tanah menyediakan berbagai layanan ekosistem, memahami bagaimana menambahkan biochar ke tanah dapat mempengaruhi ekologi tanah yang sangat penting untuk kualitas tanah.

Diantara jasa ekosistem yang menyediakan mikroorganisme tanah dari bahan organik yang melapuk dan imobilisasi hara anorganik, penyaringan dan bioremediasi kontaminan tanah, penyakit tanaman dan menekan penyebab pelepasan gas rumah kaca, dan meningkatkan porositas tanah, agregasi dan infiltrasi air (Thies dan Grossman, 2006). Ketika mereka berinteraksi dengan tanaman di rizosfer, bakteri, jamur, protozoa dan nematoda sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk memperoleh unsur hara makro dan mikro. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat langsung dari asosiasi mutualistik antara akar tanaman dan mikroorganisme, seperti dengan mikoriza arbuskular (AM) jamur *Glomeromycota* atau fiksasi nitrogen (N<sub>2</sub>) dari bakteri rhizobia, atau melalui trofik interaksi yang dihasilkan dari ekskresi unsur hara, seperti protozoa dan nematoda. Aktivitas mikroba sangat mempengaruhi fungsi tanah sehingga menghasilkan pertumbuhan tanaman. Sifat fisik dan lingkungan kimia biochar dapat mengubah dari kegiatan biologi. Sifat dan fungsi komunitas mikroba tanah berubah sebagai respon terhadap banyak faktor seperti iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik



(Thies dan Grossman, 2006). Biochar mempengaruhi biota tanah mungkin berbeda dari jenis lain dari bahan organik ditambahkan, karena stabilitas biochar membuat tidak mungkin menjadi sumber energi yang baik atau sel C setelah setiap awal bio-minyak atau kondensat telah terurai. Sebaliknya, perubahan fisik dan kimia biochar sampai lingkungan tanah yang pada gilirannya mempengaruhi karakteristik dan perilaku biota tanah.

### **2.2.3. BIOCHAR SEBAGAI HABITAT BAGI MIKROORGANISME TANAH**

Tanah dapat dipandang sebagai komunitas organisme yang kompleks yang terus berubah sebagai respon terhadap karakteristik tanah, faktor iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik (Thies dan Rillig, 2009). Namun, penambahan biochar ke tanah cenderung memiliki efek yang berbeda pada biota tanah (semua organisme hidup dalam tanah) dibandingkan dengan penambahan segar bahan organik (biomassa). Perbedaan muncul karena relatif stabilnya biochar dan kurangnya energi dan karbon biologis yang bisa digunakan dibandingkan dengan bahan organik segar. Namun demikian, penambahan biochar ke tanah mempengaruhi kelimpahan, aktivitas dan keragaman komunitas biotik tanah. Selain biochar dapat merangsang aktivitas mikroorganisme dalam tanah, berpotensi mempengaruhi sifat mikrobiologi tanah (Hammes dan Schmidt, 2009). Pemikiran biochar untuk meningkatkan lingkungan fisik dan kimia dalam tanah, memberikan mikroba dengan habitat yang lebih menguntungkan (Krull *et al.*, 2010). Biochar memiliki sifat berpori, area permukaan yang tinggi dan kemampuannya untuk mengadsorpsi materi organik larut dan unsur hara anorganik, menyediakan habitat yang sangat cocok untuk mikroba. Hal ini berlaku untuk bakteri, jamur *mikoriza arbuskula actinomycete* dan dari beberapa jenis yang mungkin istimewa menjelajah biochar tergantung pada sifat fisika-kimia. Pori-pori biochar dapat bertindak sebagai tempat perlindungan untuk beberapa mikroba, melindungi mereka dari kompetisi dan predasi.

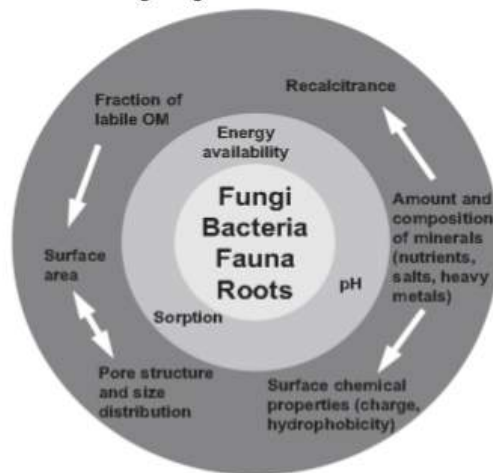
Beberapa anggota kelompok ini dapat menjelajah permukaan biochar tergantung pada sifat fisik dan kimia dari biochar yang berbeda. Ruang pori biomassa yang dipirolisis meningkat beberapa lipat selama pembakaran dan berhubungan dengan suhu pembakaran dan bahan baku. Perkiraan luas permukaan yang dihasilkan biochar berbeda berkisar dari 10 sampai beberapa ratus meter persegi per gram ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ), yang memberikan area permukaan meningkat secara signifikan untuk kolonisasi mikroba. Tergantung pada ukuran pori tertentu, mikroba yang berbeda akan atau tidak akan memiliki akses ke ruang internal. Beberapa penulis telah menyarankan bahwa pori-pori biochar dapat bertindak sebagai tempat

berlindung atau mikrohabitat bagi mikroba kolonial, di mana mereka dilindungi dari predator alami (Saito dan Muramoto, 2002, Warnock *et al.*, 2007) atau di mana mikroba itu kurang kompetitif dalam lingkungan tanah yang menjadi nyaman (Ogawa, 1994). Variasi ukuran pori partikel biochar yang berbeda dari bahan baku dan kondisi pirolisis seperti koloni mikroflora dan dilindungi, terutama dalam pori-pori yang lebih kecil. Porositas biochar tinggi juga dapat untuk mempertahankan kelembaban yang lebih. Pietikäinen *et al.* (2000), melaporkan bahwa dua biochar, dari humus dan dari kayu, kapasitas menahan air (WHC) lebih tinggi ( $2.9 \text{ mL g}^{-1}$  bahan kering) dari karbon aktif ( $1.5 \text{ mL g}^{-1}$  kering) atau batu apung ( $1.0 \text{ mL g}^{-1}$  bahan kering). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat menyebabkan peningkatan secara keseluruhan dalam kapasitas menahan air dari tanah yang akan ditambahkan. Untuk biochar dengan kandungan mineral abu tinggi, porositas akan terus meningkat karena abu yang tercuci dari waktu ke waktu, dengan demikian, kapasitas biochar untuk mempertahankan air, menyediakan permukaan untuk mikroba untuk memperbanyak diri, dan untuk berbagai elemen dan senyawa untuk menjadi teradsorpsi juga cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Pori-pori yang lebih kecil akan menarik dan mempertahankan air kapiler tanah lebih lama daripada pori-pori yang lebih besar (lebih besar dari  $10 \mu\text{m}$  untuk  $20 \mu\text{m}$ ) di kedua biochar dan tanah. Air adalah pelarut universal dan keberadaan biologis di pori biochar meningkatkan 'Huni' biochar substansial.

Kelimpahan mikroba, keanekaragaman dan aktivitas sangat dipengaruhi oleh pH. Kapasitas penyangga (yaitu, kemampuan larutan tanah untuk menahan perubahan pH) yang diberikan oleh biochar dan kapasitas tukar kation dapat membantu menjaga kondisi pH yang tepat dan meminimalkan fluktuasi pH dalam habitat mikro di dalam partikel biochar. Biochar relatif stabil dan memiliki waktu tinggal di dalam tanah yang lama, yang menunjukkan bahwa biochar bukan substrat yang baik (makanan) bagi biota tanah. Namun, biochar baru yang ditambahkan ke tanah dapat mengandung substrat yang cocok untuk mendukung pertumbuhan mikroba. Tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi produksi, beberapa biochar mungkin berisi minyak organik atau senyawa organik *recondensed* yang dapat mendukung pertumbuhan dan reproduksi kelompok mikroba tertentu. Implikasi dari ini adalah bahwa komunitas mikroba dalam biochar akan berubah dari waktu setelah telah ditambahkan ke tanah. Selain itu, mungkin ada perubahan seiring dalam kisaran peran ekologi dan layanan yang diberikan oleh komunitas yang berurutan. Ini mungkin menjadi jasa ekosistem yang bermanfaat untuk pertanian, seperti siklus hara atau mineralisasi bahan organik, mengembangkan dari waktu ke waktu.

Sifat biochar dapat meningkatkan komunitas mikroba tanah dan menciptakan lingkungan mikro yang mendorong kolonisasi mikroba. Biochar memiliki

pori-pori dan luas permukaan internal tinggi, dan peningkatan kemampuan untuk menyerap bahan organik menyediakan habitat yang cocok untuk mendukung mikrobiota tanah yang mengkatalisasi proses yang mengurangi kehilangan N dan meningkatkan ketersediaan hara atau tanaman. Pori-pori sebagai tempat berlindung dengan melindungi mikroba dari predasi dan pengeringan sementara bahan organik teradsorpsi ke biochar menyediakan energi C dan persyaratan unsur hara mineral (Warnock *et al.*, 2007). Dalam ekosistem sedang dengan aplikasi biochar, mineralisasi N dan nitrifikasi ditingkatkan (Berglund *et al.*, 2004; Gundale dan DeLuca, 2007) dengan menciptakan lingkungan mikro yang menguntungkan yang meningkatkan kolonisasi oleh mikroba (Warnock *et al.*, 2007; Pietikainen *et al.*, 2000). Jika aktivitas mikroba mampu mengoksidasi biochar, kita perlu tahu mikroba mana dapat mencapai hal ini, mekanisme yang terjadi, dan dalam kondisi apa dan pada tingkat apa ini akan berlangsung.



Gambar 1. Diagram menunjukkan hubungan antara sifat biochar (lingkaran luar), tanah (lingkaran menengah) dan sebuah biota tanah (lingkaran dalam) (Dari Lehman *et al.*, 2011)

Bukti pendukung peningkatan kelimpahan mikroba dan penumpukan C stabil dalam tanah berasal dari arang yang mengubah Anthrosol. Sementara banyak penelitian menyarankan penambahan biochar yang bermanfaat untuk meningkatkan aktivitas mikroba dan meningkatkan penyimpanan C, yang lain telah melaporkan dekomposisi bahan organik tanah dipercepat (priming) setelah penambahan biochar segar (arang). Stabilisasi bahan organik tinggi ditambahkan ke tanah dari lingkungan tropis yang mengandung arang tua. Mereka melaporkan mineralisasi bahan organik kurang lebih 25,5% pada Anthrosol dibandingkan dengan Oxisol yang berdekatan yang tidak diamendemen. Sedangkan arang mengubah Anthrosol memiliki lebih dari

dua kali jumlah biomassa mikroba dari tanah yang berdekatan, respirasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang berdekatan yang tidak diamendemen. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa mikroba terkait dengan penambahan arang memiliki efisiensi metabolisme yang lebih tinggi (Liang *et al.*, 2010). Temuan serupa mendukung proliferasi mikroba dan penurunan respirasi tanah telah dilaporkan dalam tanah mineral yang berubah dengan tingkat bervariasi biochar jagung. Sebaliknya, potensi biochar untuk menyebabkan atau mempercepat dekomposisi bahan organik (humus) permukaan tanah telah dilaporkan dalam studi 10 tahun dari kantong sampah di zona boreal (Wardle *et al.*, 2008a), di mana kerugian humus lebih cepat ditunjukkan pada arang. Demikian pula, biochar homogen dengan atau tanpa N bisa merangsang hilangnya C organik tanah (antara 8-13%) dalam tanah pertanian dan hutan. Ada juga bukti yang menunjukkan bahwa ketersediaan N tanah adalah faktor pengendali untuk efek priming char (DeLuca *et al.*, 2006; Gundale dan DeLuca, 2006). Apakah aplikasi biochar menstabilkan bahan organik tanah atau hasil dalam priming masih dalam spekulasi dan sebagai saran penelitian lebih lanjut (Sohi *et al.*, 2010).

Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik yang tersedia melimpah. Biochar adalah padatan berpori hasil karbonisasi bahan-bahan mengandung karbon. Umumnya struktur arang berupa karbon amorf, yang tersusun dari karbon-karbon bebas berikatan kovalen membentuk struktur heksagonal datar (Puziy *et al.*, 2003). Kualitas biochar sangat tergantung pada sifat kimia dan fisik biochar yang dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan metode karbonisasi (tipe alat pembakaran, temperatur), dan bentuk biochar (padat, serbuk, karbon aktif) (Ogawa, 2006). Widowati *et al.* (2014) melaporkan ada interaksi antara jenis dan dosis biochar pada pencucian N dan K dan produksi biomassa jagung. Biochar mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Perubahan dari biomassa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO<sub>2</sub>, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Potensi penggunaan biochar sebagai bahan amandemen untuk menjaga kesinambungan kesuburan dan produktivitas tanah di daerah tropis telah dilaporkan oleh (Topoliantz *et al.*, 2005).

Di dalam tanah, biochar menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah, tapi tidak dikonsumsi seperti bahan organik lainnya. Dalam jangka panjang, biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon nitrogen, bahkan mampu menahan dan menjadikan air dan unsur hara lebih tersedia bagi tanaman.

Embun, suhu dan konsentrasi ion hidrogen (pH) adalah faktor lingkungan yang paling kuat mempengaruhi kelimpahan bakteri, keragaman dan aktivitasnya (Wardle, 1998). Keragaman komunitas bakteri tanah berbeda dengan tipe

ekosistem, tetapi bahwa perbedaan terutama oleh pH tanah, dengan keragaman bakteri tertinggi di tanah netral dan terendah di tanah asam. Kegiatan populasi bakteri juga sangat dipengaruhi oleh pH. Dalam kondisi asam dan basa, protein menjadi terdenaturasi dan aktivitas enzim dihambat, merusak proses metabolisme. Biochar bervariasi dalam pH, tergantung pada bahan baku dan suhu pirolisis dan, dengan demikian, juga akan bervariasi dalam komunitas mikroba yang berkembang di sekitarnya. Di bawah pH ekstrem, jamur akan mendominasi karena memiliki berbagai toleransi pH, kebanyakan bakteri lebih memilih pH sekitar netral. Menambahkan biochar ke tanah, apakah asam atau alkali, dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam komposisi komunitas tanah dengan mengubah rasio keseluruhan bakteri terhadap jamur, serta dominasi genera yang berbeda dalam populasi ini. Hal ini juga secara signifikan dapat mengubah fungsi tanah dengan mempengaruhi aktivitas enzim dan, dengan demikian, aktivitas mikroba secara keseluruhan.

Biochar dapat meningkatkan habitat bagi mikroorganisme tanah dan akar tanaman (Atkinson *et al.*, 2010) sebagai aplikasinya juga dapat meningkatkan retensi kelembaban di tanah ringan dan filtrasi air dan drainase di tanah yang lebih berat. Dengan demikian, meningkatkan karakteristik fisika tanah dapat meningkatkan interaksi kimia yang mendukung aktivitas mikroba. Karena biochar adalah resistensi terhadap degradasi mikroba, perbaikan ini dapat bertahan untuk waktu yang lama. Banyak studi juga menunjukkan bahwa lebih baik memahami efek biochar di jenis tanah yang berbeda sehingga akan membantu dalam menggunakannya untuk manajemen yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda dan mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapannya (Sohi *et al.*, 2010).

Biochar dapat mengubah proses biologis di tanah seperti mineralisasi N dan nitrifikasi dengan mempengaruhi komunitas bakteri yang terlibat dalam proses ini serta memberikan lingkungan yang sesuai untuk meningkatkan keseluruhan aktivitas mikroba (Berglund *et al.*, 2004). Telah didokumentasikan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Pengaruh penambahan biochar pada biomassa dan aktivitas mikroba; biochar ditambahkan ke empat tanah yang berbeda: Mollisol, Inceptisol, Entisol, dan Spodosol di lima tingkat aplikasi dari 0,1 kg kg<sup>-1</sup> biochar tanah. Hasil menunjukkan signifikan di kedua biomassa mikroba dan aktivitas dengan meningkatnya tingkat aplikasi. Penelitian ini juga menunjukkan pola yang sama dari dampak biochar pada biomassa mikroba, aktivitas mikroba, dan ketersediaan hara di keempat tanah tetapi respon mikroba adalah beragam, tergantung pada perbedaan kemampuan memanfaatkan hara di setiap tanah (Kolb *et al.*, 2009). Penambahan biochar yang



berasal dari dua jenis *eucalyptus* kayu pada empat tingkat (0, 1, 2, dan 4% b/b) yang ditambahkan ke Ultisol berpasir dan Oxisol liat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengapuran adalah aspek yang paling menguntungkan dari penambahan biochar di kedua tanah, terutama tanah berpasir Ultisol, yang memiliki kesuburan rendah. Tingkat aplikasi biochar yang paling menguntungkan diamati antara 1 dan 2% b / b (Butnan *et al.*, 2015).

Bakteri dan jamur bergantung pada enzim ekstraseluler untuk mendegradasi substrat di lingkungan mereka menjadi molekul yang lebih kecil yang kemudian dapat diambil ke dalam sel dan digunakan untuk berbagai kegiatan metabolik (Paul, 2007). Permukaan menjadi sangat penting dalam hal ini, apakah permukaan agregat tanah, akar tanaman, partikel tanah liat, bahan organik tanah atau biochar. Aktivitas enzim ekstraseluler akan tergantung pada lokasi molekul pada protein yang berinteraksi dengan permukaan biochar. Jika bagian aktif enzim terkena fungsional dan bebas untuk berinteraksi dengan lingkungan, maka peningkatan aktivitas dapat terjadi. Namun, jika bagian aktif lemah maka dapat mengakibatkan aktivitas berkurang. Karbon organik tanah memainkan peran penting dalam siklus hara dan meningkatkan cadangan air tersedia bagi tanaman, kapasitas buffer tanah dan struktur tanah. Peneliti menggunakan biochar sebagai zat relatif inert yang diubah sangat sedikit oleh kimia atau proses biokimia dari waktu ke waktu. Namun, sifat permukaan biochar melakukan perubahan dengan waktu dan secara perlahan termineralisasi selama jangka waktu yang lama. Meskipun biochar tidak sepenuhnya lambat, laju dekomposisi jauh lebih lambat daripada bahan organik yang tidak diarsir. Oleh karena itu, partikel biochar sendiri tidak bertindak sebagai substrat yang signifikan untuk metabolisme mikroba. Sebaliknya, sisa bio-minyak pada partikel dan kisaran senyawa teradsorpsi ke permukaan biochar tampaknya menjadi satu-satunya substrat yang tersedia dalam jangka pendek untuk mendukung pertumbuhan mikroba dan metabolisme.

Populasi mikroba tanah dapat dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas biochar yang ditambahkan ke tanah. Kualitas biochar sangat tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis. Flash carbonizing dan beberapa kondisi pirolisis suhu rendah meninggalkan residu bio-minyak dan turunan lainnya pada permukaan biochar (Steiner *et al.*, 2008). Tergantung pada komposisi senyawa sisa pirolisis, mereka dapat berfungsi sebagai substrat pertumbuhan mikroba dan metabolit-LISM, seperti yang diusulkan oleh Ogawa (1994) dan Steiner *et al.*, (2008), tetapi mereka juga dapat menjadi racun bagi tanaman seperti ditunjukkan oleh McClellan *et al.*, (2007), dan mungkin untuk beberapa mikroba.

Bio-minyak, abu, asam pyroligneous (HK) (Steiner *et al.*, 2008) dan materi (VM) (McClellan *et al.*, 2007) volatile, antara lain, adalah istilah yang diberikan oleh

berbagai peneliti untuk berbagai residu yang tersisa di permukaan biochar segera setelah pirolisis. Permukaan mengikuti kondensat pirolisis dapat mencakup senyawa yang larut dalam air seperti asam, alkohol, aldehida, keton dan gula yang mudah dimetabolisme oleh mikroba tanah. Namun, tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis, mereka mungkin juga mengandung senyawa seperti hidrokarbon aromatik polisiklik, Kresol, xlenols, formaldehida hyde, akrolein dan senyawa karbonil beracun lainnya yang dapat memiliki aktivitas bakterisida atau fungisida. Ogawa (1994) dan Zackrisson *et al.*, (1996) telah menunjukkan bahwa zat ini dapat menjadi C dan sumber energi bagi mikroba yang dipilih. Waktu pergantian substrat ini cenderung berada di urutan satu sampai dua musim dan, dengan demikian, tidak akan menentukan komposisi komunitas untuk waktu yang lama.

Kemampuan dalam dinamika adsorpsi unsur hara dan C yang mengandung substrat oleh biochar mungkin mengubah interaksi kompetitif antara mikroba dan perubahan struktur komunitas secara keseluruhan dan dinamika. Pietikäinen *et al.* (2000) mengeksplorasi kemampuan biochar terbuat dari *Empetrum nigrum*, biochar terbuat dari humus, karbon aktif dan batu apung untuk menyerap karbon organik terlarut dan mendukung populasi mikroba. Jenis dan ketersediaan substrat yang terkait dengan adsorben yang berbeda menyebabkan kolonisasi oleh komunitas mikroba yang berbeda. Perbedaan dalam komunitas permukaan mungkin, pada gilirannya, menghasilkan perubahan dalam tersedianya unsur hara untuk tanaman dan siklus unsur hara, secara umum, di tanah yang ditambahkan adsorben.

#### **2.2.4. KANDUNGAN UNSUR HARA BIOCHAR**

Kondisi operasional pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisika-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan unsur hara dalam biochar setiap tanaman. Biochar berasal dari kotoran dan hewan-produk bahan baku relatif kaya unsur hara bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Namun, biochar secara umum mungkin lebih penting digunakan untuk modifikasi tanah dan transformasi hara dan kurang begitu sebagai sumber utama unsur hara (DeLuca *et al.*, 2009).

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan unsur hara, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat

menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6% ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400-800 °C, (Bagreev *et al.*, 2001). Studi lain melaporkan efek yang sama pada kandungan nitrogen di kedua biochar kayu dan herba. Nitrogen secara bertahap dilepaskan dari sampel char, mulai dari 400 °C dan terus berlanjut sampai ke 750 °C, dimana waktu sedikit lebih dari setengah nitrogen awal (Lang *et al.*, 2005). Selain hilangnya sebagian nitrogen, penurunan juga ditemukan pada ketersediaan nitrogen yang tersisa untuk tanaman (Bagreev *et al.*, 2001). Penjelasan untuk ini mengusulkan bahwa sisa nitrogen yang dimasukkan ke dalam matrik karbon, membatasi ketersediaan nitrogen dalam biochar yang dihasilkan (Bagreev *et al.*, 2001; Chan & Xu., 2009; Macias & Arbestain, 2010).

Chan *et al.* (2009), melaporkan atribut positif dari biochar adalah unsur hara yang disediakan baik secara langsung dengan memberikan unsur hara untuk tanaman atau secara tidak langsung dengan meningkatkan kualitas tanah, dengan konsekuensi dalam peningkatan efisiensi penggunaan pupuk. Sebagai ukuran langsung dari nilai hara biochar bukan kandungan hara total melainkan hara tersedia yang merupakan pertimbangan penting. Kandungan unsur hara total bukan merupakan indikator yang tepat dari ketersediaan unsur hara, hanya sebagian kecil dari kandungan total hara yang segera tersedia atau mudah dikonversi menjadi bentuk yang tersedia untuk penyerapan oleh tanaman (Keeney, 1982). Contoh dari unsur hara langsung dari biochar adalah kemampuannya untuk mempertahankan unsur hara dalam tanah dan karena itu mengurangi pencucian hara sehingga terjadi peningkatan serapan hara. Hasil penelitian Widowati *et al.* (2014) menyebutkan bahwa pada 1-30 hst, pencucian nitrat berkurang dengan aplikasi biochar, pencucian nitrat terendah pada dosis 45 t ha<sup>-1</sup> dan bahan biochar kayu. Menurut Glaser *et al.* (2001), salah satu alasan kemampuan tanah Terra Preta Amazon ditandai dengan tingginya kandungan biochar seperti karbon *pyrogenic* (C), menyebabkan kesuburan tanah yang tinggi (dibandingkan dengan tanah subur yang berdekatan) adalah kemampuannya untuk mempertahankan unsur hara. Contoh lain dari nilai hara tidak langsung biochar adalah perbaikan terhadap hambatan tanah dalam membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman (misalnya penggunaan kapur untuk mengatasi keasaman tanah, dengan hasil peningkatan efisiensi penggunaan pupuk dan peningkatan produksi tanaman).

Biochar yang diproduksi dari biomassa diharapkan mengandung karbon yang tinggi dan mengandung berbagai hara makro dan mikro. Komposisi biochar tergantung pada sifat dari bahan baku dan kondisi pirolisis. Tinjauan literatur telah mengungkapkan bahwa hanya sedikit sekali informasi yang tersedia mengenai sifat hara biochar. Sebagian besar penelitian tentang pirolisis biomassa telah difokuskan



pada energi dan kualitas bahan bakar daripada biochar sebagai amandemen tanah. Selanjutnya, informasi tentang kandungan hara dan sifat biochar tidak selalu digunakan dalam penelitian agronomi dalam pelaporan hasil eksperimen, sehingga sulit untuk menilai agro-ekonomi dari biochar. Keseluruhan komposisi elemental C, nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K), P tersedia dan mineral N serta pH biochar seperti yang tercatat dalam literatur oleh berbagai penelitian.

Hal yang paling mencolok adalah variabilitas yang tinggi dari semua parameter, kecuali pH. Dalam kasus pH, data menunjukkan bahwa biochar digunakan sebagai amandemen tanah dalam penelitian sebelumnya biasanya alkali ( $\text{pH} > 7,0$ ). Namun, biochar dapat diproduksi di hampir semua pH antara 4 dan 12 (Lehmann, 2007) dan dapat menurunkan ke nilai pH 2,5 setelah inkubasi jangka pendek empat bulan pada  $70^\circ\text{C}$  (Cheng *et al.*, 2006). Kandungan karbon berkisar antara  $172\text{ g kg}^{-1}$  dan  $905\text{ g kg}^{-1}$  (koefisien variasi,  $\text{CV} = 106,5\%$ ). Rentang yang lebih besar dalam N total ( $1,8 - 56,4\text{ g kg}^{-1}$ ), jumlah P ( $2,7 - 480\text{ g kg}^{-1}$ ) dan total K ( $1,0 - 58\text{ g kg}^{-1}$ ), semua dengan  $\text{CV} 100\%$ . Variabilitas dapat dikaitkan dengan bahan baku yang berbeda dan kondisi yang berbeda di mana berbagai biochar diproduksi. Pengaruh bahan baku sangat jelas dalam kandungan total P yang lebih tinggi ditemukan pada biochar yang diproduksi dari bahan baku yang berasal dari kotoran hewan (limbah lumpur dan broiler) dibandingkan dari tanaman (misalnya kayu). Demikian pula, N total dari limbah lumpur ( $64\text{ g kg}^{-1}$ ; Bridle dan Pritchard, 2004) jauh lebih tinggi daripada yang berasal dari nabati murni (misalnya limbah hijau) ( $1,7\text{ g kg}^{-1}$ ; Chan *et al.*, 2007b). Dibandingkan dengan bentuk organik lain yang biasa digunakan dalam pertanian, baik N total dan kandungan P biochar mencakup rentang yang lebih luas daripada yang dilaporkan untuk pupuk organik. Penting untuk dicatat bahwa jenis bahan bakuyang sama dapat menghasilkan biochar sangat berbeda. Sebagai contoh, Chan *et al.* (2007b) melaporkan jumlah kandungan N sebesar  $20\text{ g kg}^{-1}$  untuk biochar dihasilkan dari sampah unggas dibandingkan dengan  $7,5\text{ g kg}^{-1}$  dan  $6,0\text{ g kg}^{-1}$  untuk dua biochar yang terbuat dari sampah unggas yang berbeda dilaporkan oleh Lima dan Marshall (2005). Perbedaan yang besar seperti N total adalah kualitas sampah unggas yang berbeda atau dari kondisi pirolisis berbeda. Suhu yang lebih tinggi ( $700^\circ\text{C}$ ) digunakan oleh Lima dan Marshall (2005) dibandingkan dengan  $450^\circ\text{C}$  dilaporkan oleh Chan *et al.* (2007b). Informasi ini menunjukkan kondisi selama pirolisis menentukan sampai batas yang signifikan kandungan N melalui penurunan N lebih besar pada suhu pirolisis yang lebih tinggi.

### Kandungan Total Unsur

Khususnya unsur hara organik yang terikat seperti N dan belerang (S) tidak selalu mencerminkan ketersediaan hara aktual untuk tanaman. Sangat sedikit data

tentang kandungan hara yang tersedia dalam biochar yang ditemukan dalam literatur. Dari data terbatas yang tersedia, mineral N sangat rendah dan P tersedia sangat bervariasi. Meskipun N total tinggi 6,4%, biochar dihasilkan dari limbah lumpur ditemukan memiliki N mineral (amonium-N<sup>+</sup>, nitrat-N) bahkan setelah 56 hari inkubasi (Bridle dan Pritchard, 2004). Demikian pula, mineral N ditemukan <2 mg kg<sup>-1</sup> untuk limbah hijau dan arang kotoran unggas dengan N total masing-masing 1.7 mg kg<sup>-1</sup> dan 20 mg kg<sup>-1</sup> (Chan *et al.*, 2007b). Sebaliknya, K tersedia dalam biochar biasanya tinggi dan peningkatan penyerapan K sebagai hasil dari aplikasi biochar telah sering dilaporkan (Lehmann *et al.*, 2003b). Rasio C/N biochar bervariasi antara 7-400, dengan rata-rata 67. Rasio ini sering digunakan sebagai indikator kemampuan substrat organik untuk mineralisasi dan pelepasan N anorganik ketika diaplikasikan ke tanah. Umumnya, rasio C/N organik substrat kurang dari 20 digunakan sebagai batas kritis atas imobilisasi N oleh mikroorganisme, terjadi karena N diaplikasikan dengan substrat tidak tersedia bagi tanaman. Kompos dengan C/N rasio di atas 25-30 mengurangi N anorganik. Berdasarkan nilai-nilai ini, mengingat C/N rasio sangat tinggi, sebagian besar biochar menyebabkan imobilisasi N dan mungkin menginduksi kekurangan N dalam tanaman bila diterapkan pada tanah saja. Namun, ada ketidakpastian jika kriteria yang sama dapat langsung diterapkan untuk biochar. C/N rasio Terra Preta tanah biasanya lebih tinggi daripada Ferralsol yang berdekatan, tetapi cenderung memiliki N yang lebih baik. Sebagian besar biochar terdiri dari C organik sangat recalcitrant, yang tidak mudah termineralisasi, imobilisasi N diabaikan meskipun C/N rasio tinggi. Penerapan biochar mungkin mengakibatkan penurunan serapan N, seperti yang ditunjukkan dalam beberapa penelitian (misalnya Lehmann *et al.*, 2003b, Rondon *et al.*, 2007). Ada kemungkinan karena sebagian kecil dari biochar baru diproduksi yang relatif mudah dimineralisasi, tetapi dapat menyebabkan immobilisasi N karena rasio C/N-nya tinggi. Namun, sebagian besar sisa C organik (dengan lebih tinggi C/N) tidak menyebabkan reaksi imobilisasi karena tingkat tinggi dari perlawanan biologis.

Dari 16 biochar yang dibuat dari biomassa tanaman yang berbeda serta limbah unggas, P tersedia diekstrak bikarbonat ditemukan berkisar antara 1-15 mg kg<sup>-1</sup> dan 11.600 mg kg<sup>-1</sup> (Chan *et al.*, 2007b). Tingkat P tersedia lebih tinggi ditemukan di biochar yang dihasilkan dari limbah unggas dibandingkan dari biomassa tanaman. Namun, kandungan logam berat yang tinggi telah dilaporkan pada biochar dihasilkan dari berbagai bahan (misalnya limbah lumpur dan limbah penyamakan kulit) (Bridle dan Pritchard, 2004). Konsentrasi tinggi dari tembaga (Cu), seng (Zn), kromium (Cr) dan nikel (Ni) dalam biochar dihasilkan dari limbah lumpur. Biochar dihasilkan dari limbah penyamakan kulit bisa sangat tinggi dalam Cr (Muralidhara, 1982) sebagai logam ini dapat membuat 2% dari total berat kering



limbah. Cr ditemukan untuk mengikat bahan organik di biochar dalam bentuk kompleks trivalen dan dapat dipulihkan oleh resapan dengan asam sulfat encer (Muralidhara, 1982). Sedikit yang diketahui tentang ketersediaan logam ini berpotensi beracun.

Beberapa dari biochar memiliki konsentrasi karbonat yang cukup tinggi, yang berharga sebagai bahan pengapuran untuk mengatasi keasaman tanah. Chan *et al.* (2007b) melaporkan kandungan karbonat kurang dari 0,5-33% untuk berbagai biochar dihasilkan dari bahan baku dan kondisi yang berbeda. Tidak ada hubungan langsung antara nilai pengapuran dan pH biochar. Dari data yang ada, tidak ada tingkat optimum aplikasi biochar dapat diperoleh karena variabilitas besar dalam karakteristik biochar. Glaser *et al.* (2002), menyimpulkan bahwa tingkat aplikasi optimal biochar harus ditentukan untuk setiap jenis tanah dan jenis tanaman.

135

### Unsur Hara Yang Tersedia

Dalam arti yang paling umum, unsur hara yang tersedia adalah sebagian dari unsur atau senyawa yang dapat diasimilasi oleh tanaman yang tumbuh. Di tanah, berbagai ekstraktan (air, 1M KCl, 0.5M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>OAc pada pH 7, Morgan, Mehlich-III, Mehlich-I, Bray, Olsen, DTPA, dll) telah digunakan untuk mengkorelasikan unsur hara yang diekstrak dengan serapan hara tanaman. Pendekatan ini telah digunakan untuk membedakan elemen yang mungkin tersedia dari biochar.

Meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan hasil yang beragam dalam hal status unsur hara yang tersedia dalam biochar. Meningkatkan suhu pirolisis telah terbukti menyebabkan hasil panen yang optimal. Mengingat konsentrasi P di biochar kayu lunak, sekitar 145 Mg ha<sup>-1</sup> akan diperlukan untuk memasok P bagi kebutuhan tanaman. Sebagai perbandingan, biochar sampah yang berisi tujuh kali lebih banyak P tersedia, perlu diterapkan sekitar 20 mg ha<sup>-1</sup>. Nilai ini mungkin masih dianggap tidak masuk akal untuk produksi pertanian. Perbandingan antara biochar hazelnut dan limbah pabrik kertas dalam hal penyediaan K tersedia. Rata-rata konsentrasi K tersedia K untuk biochar limbah hazelnut dan papermill masing-masing 890 dan 20,800 mg kg<sup>-1</sup>. Mempertimbangkan media tanah irigasi untuk nilai uji K jagung di South Carolina menyarankan bahwa 67 kg dari K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> akan diperlukan oleh tanaman.

### pH dan Pengapuran

Biochar digunakan untuk memperbaiki tanah biasanya alkalin yang mungkin memiliki efek menaikkan pH tanah. Namun, tidak semua biochar adalah basa. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang

digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann, 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa meningkatkan suhu pirolisis dapat meningkatkan pH dari beberapa biochar. Telah ditemukan bahwa peningkatan suhu pirolisis dari 310 sampai 850 °C, biochar dihasilkan dari ampas tebu.

Suhu pirolisis memiliki dampak pada pH biochar. Secara khusus, meningkatnya suhu pirolisis menghilangkan fungsi asam kelompok karboksilat dan kadar abu meningkat (Novak *et al.*, 2009; 2012; Cantrell *et al.*, 2012). Enders *et al.* (2012), menunjukkan bahwa suhu pirolisis meningkat dari 300 ke 600 °C, pH meningkat pada kotoran sapi dan biochar berbasis biomassa kayu. Pada pirolisis suhu yang lebih besar, unsur hara dalam bentuk mineral atau garam (seperti KOH, NaOH, MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, garam logam organik) terpisah dari matrik organik padat, sehingga nilai pH tinggi (Cao dan Harris, 2010). Karena pH, biochar telah digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah asam (Yuan dan Xu, 2011), sehingga bisa berfungsi sebagai agen pengapuran. Efek pengapuran mungkin kuantitas produk lapang, biochar ekuivalen dengan kalsium karbonat (CCE, nilai biochar telah terkait dengan kuantitas setara CaCO<sub>3</sub>). Meningkatkan suhu pirolisis akan meningkatkan CCE biochar. Efek ini telah digambarkan oleh beberapa studi (Hass *et al.*, 2012). Selain itu, mengaktivasi uap elevasi selama pirolisis dapat meningkatkan pH biochar serta kalsium karbonat setara (CCE) dibandingkan dengan karakter biochar non-aktif (Hass *et al.*, 2012).

### Retensi Hara

Biochar dapat mempertahankan unsur hara melalui beberapa mekanisme termasuk adsorpsi elektrostatis dan retensi unsur hara yang larut dalam air (yaitu, fiksasi; Lehmann *et al.*, 2003). Lebih khusus, kemampuan beberapa biochar untuk mempertahankan unsur hara tersebut berkaitan dengan luas permukaan yang besar, kuantitas kelompok fungsional dan porositas yang besar. Luas permukaan dan porositas di biochar dapat sangat bervariasi tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis. Biochar kayu (sebagian besar terdiri dari *sweetgum* dan *ek chip*) memiliki luas permukaan spesifik lebih besar dibandingkan dengan biochar kayu lunak (yang sebagian besar terdiri dari *yellow chip* rendah dan pinus), masing-masing 242 dibanding 159 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. Namun ketika rata-rata data biochar di semua kayu dan kayu lunak diterbitkan pada tahun 2012, sedikit ada perbedaan antara kedua data. Bahkan, sulit untuk menarik kesimpulan sehubungan dengan luas permukaan biochar berdasarkan hanya dari bahan baku. Dengan demikian, sulit untuk menarik kesimpulan dari retensi hara berdasarkan bahan baku.

Namun, luas permukaan spesifik cenderung meningkat dengan suhu pirolisis seperti yang digambarkan oleh berbagai penelitian (Lu *et al.*, 2012; Cantrell

*et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2012; Hass *et al.*, 2012; Shen *et al.*, 2012) dan dapat menyebabkan penyimpanan unsur hara yang lebih besar. Peningkatan luas permukaan spesifik dengan suhu pirolisis yang paling sering dikaitkan dengan kedua perubahan fisik dan kimia dalam biochar tersebut. Diameter sel pori berkurang, pori-pori internal yang muncul dan selanjutnya meningkatkan luas permukaan. Selain itu, adalah mungkin bahwa pada pirolisis suhu rendah yang terjadi pori mikro; dengan demikian, menghasilkan area permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan biochar suhu yang lebih tinggi di mana penguapan menyebabkan peningkatan luas permukaan (Kloss *et al.*, 2012). Chen *et al.* (2008), menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis menghilangkan H dan O yang mengandung gugus fungsional, sehingga menyebabkan bertambahnya area permukaan biochar. Peningkatan suhu pirolisis mengurai selulosa dan lignin, juga menyebabkan peningkatan luas permukaan. Seiring bertambahnya luas permukaan spesifik (misalnya, Borchard *et al.*, 2012b). Proses tersebut menyebabkan ukuran pori berkurang dan luas permukaan meningkat yang mungkin menyebabkan peningkatan retensi hara. Pirolisis cepat dibandingkan dengan pirolisis lambat, dalam hal luas permukaan biochar, satu hal yang mungkin menganggap bahwa biochar pirolisis cepat akan berisi luas permukaan yang lebih besar dan dengan demikian menunjukkan lebih besar retensi hara. Memerlukan awal ukuran bahan baku partikel yang lebih kecil untuk memperlambat pirolisis. Namun, hal ini tidak jelas bahwa awal ukuran partikel lebih kecil berpengaruh pada luas permukaan spesifik. Biochar pirolisis cepat memiliki area permukaan rendah ( $< 8.0 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ; Boateng, 2007) dibandingkan dengan memperlambat pirolisis biochar. Hal ini kemungkinan disebabkan transformasi fisika-kimia lengkap selama pirolisis cepat.

#### **Kapasitas Tukar Kation (KTK) Biochar**

KTK biochar dikembangkan jika produk terkena oksigen dan air, menciptakan kelompok permukaan fungsional (Chan dan Xu, 2009). Mirip dengan tanah, KTK biochar mewakili kemampuannya untuk penyerapan elektrostatis atau menarik kation. Meskipun biochar berbasis organik dan karena itu tergantung pH, KTK seperti bahan organik tanah. Bertambahnya suhu pirolisis cenderung menyebabkan penurunan KTK; Fenomena ini diamati oleh Lin *et al.* (2012). Hal ini disebabkan penghilangan kelompok fungsional organik (yaitu, materi yang lebih mudah menguap) di suhu pirolisis yang lebih besar (Gaskin *et al.*, 2008; Kloss *et al.*, 2012). Memang, peningkatan suhu pirolisis meningkatkan dekomposisi lignin dan selulosa dalam bahan baku (Novak *et al.*, 2009) menyebabkan hilangnya kelompok fungsional. Dengan demikian, potensi terjadinya retensi hara awal akan lebih rendah bila biochar dibuat dan dibandingkan dengan suhu pirolisis rendah. Namun, retensi

hara juga mungkin merupakan fungsi dari oksidasi jangka pendek dan jangka panjang setelah biochar dimasukkan ke dalam lingkungan.

Penelitian khusus serapan unsur hara telah dilakukan pada Cu, NH<sub>3</sub> dan NH<sub>4</sub>. Borchard *et al.* (2012), menyarankan bahwa kelompok fungsional yang mengandung oksigen dalam biochar bertanggung jawab untuk keseluruhan penyerapan. Cu ditemukan berinteraksi dengan kimia biochar dan interaksi fisik (misalnya, jerapan) diabaikan. Tanggapan serupa telah diamati untuk Cr pada sabut kelapa biochar. Sebagian Cu terikat dalam biochar melalui kelompok fungsional ligan organik, namun beberapa presipitasi karbonat / oksida tidak terjadi. Uchimiya *et al.* (2012b), menunjukkan penghilangan kelompok alifatik dan N-mengandung gugus fungsional hetero aromatik dengan suhu pirolisis tinggi, yang berkorelasi positif dengan retensi Cu di biochar berbasis kotoran. Penyerapan senyawa nitrogen dengan biochar juga telah disarankan. Ding *et al.*, (2010) mencatat bahwa penyerapan NH<sub>4</sub> ke biochar terjadi terutama melalui pertukaran ion, kekuatan coulomb, fiksasi serapan kimia amonia atau asosiasi dengan kelompok S-fungsional. Disamping karbon stabil, Unsur hara makro dan mikro adalah komponen paling utama dalam biochar (Lehmann *et al.*, 2011), meskipun, jumlah dan ketersediaan unsur hara bervariasi berdasarkan bahan baku dan kondisi pirolisis. Dengan memberikan tambahan unsur hara ke dalam tanah, dan akibatnya mempengaruhi serapan hara tanaman, aplikasi biochar dapat mengubah kemampuan kompetitif dari spesies tanaman tertentu. Secara khusus, spesies polong telah terbukti manfaat dari perubahan biochar (Rondon *et al.*, 2007). Misalnya, penambahan biochar, identik dengan yang digunakan dalam penelitian ini, ke padang rumput yang kaya spesies di Belanda menghasilkan hampir tiga kali lipat peningkatan dalam proporsi biomassa dari kacang-kacangan (semanggi terutama merah, *Trifolium pratense*) setelah satu musim tanam.

Beberapa mekanisme telah diusulkan untuk menjelaskan kemampuan kompetitif dari kacang-kacangan dengan biochar (Lehmann dan Rondon, 2006). Misalnya, imobilisasi N oleh komunitas mikroba telah ditemukan setelah penambahan arang ke Ferralsol (Lehmann *et al.*, 2003). Selain pengurangan N tersedia, biochar dimediasi peningkatan pH tanah (Jeffery *et al.*, 2011). Biochar sebagai amandemen tanah untuk perbaikan kesehatan tanah melalui fisik tanah yang berpotensi meningkatkan kesuburan kimia. Biochar terdiri dari struktur berpori, karbon aromatik stabil yang sangat tahan terhadap degradasi kimia dan mikroba (Glaser *et al.*, 2001). Dengan demikian, mampu eksekusi karbon di tanah (Rondon *et al.*, 2005). Seperti amandemen biochar dapat mempengaruhi populasi mikroba tanah dan aktivitasnya, penerapan tingkat biochar dan karakteristik tanah itu sendiri



perlu penelitian untuk memantau tanggapan di tanah dengan perlakuan biochar (Lehmann *et al.*, 2011). Sementara biochar memiliki rasio karbon dan nitrogen tinggi (C/N rasio), membuatnya menjadi rendah sumber unsur hara. Biochar memiliki luas permukaan yang tinggi yang dapat meningkatkan KTK, pH, retensi hara, dan kapasitas memegang air, terutama di tanah bertekstur berpasir (Lehmann *et al.*, 2006).

Kapasitas biochar untuk mengubah tanah akan tergantung pada jenis dan tingkat biochar dan dampaknya dalam skala waktu yang diberikan (Unger *et al.*, 2011). Perubahan biochar dan luas permukaan yang tinggi sering berkorelasi dengan peningkatan KTK yang dapat meningkatkan ketersediaan dan penggunaan efisiensi unsur hara di beberapa tanah tergantung pada spesifikasi biochar. Dengan demikian, KTK tanah rendah seharusnya yang paling terkena dampak. Juga, biochar berpotensi dapat meningkatkan pH tanah, yang kemudian banyak berpengaruh pada transformasi hara dan kemampuannya untuk tanaman, khususnya di tanah asam. Namun, pH tanah dapat meningkat atau menurun tergantung pada pH dan kandungan kapur dari biochar sendiri (Lehmann *et al.*, 2011). Secara umum, biochar dan amandemen organik lainnya yang ditambahkan ke tanah harus meningkatkan unsur hara tersedia bagi rizosfer tanaman (Steiner *et al.*, 2007). Biochar telah terbukti secara signifikan meningkatkan hasil panen dan mutu yang baik melalui peningkatan pasokan unsur hara (Steiner *et al.*, 2007, Unger *et al.*, 2011). Oleh karena itu, memahami interaksi antara tingkat biochar dan komunitas mikroba di dalamnya diperlukan untuk model yang lebih baik dari efek biochar dan implikasinya pada fungsi tanah. Hal ini juga diperlukan dalam berbagai jenis tanah sebagai hasil sebelumnya yang menyarankan tanah miskin adalah yang paling ditingkatkan dengan penambahan biochar (Atkinson *et al.*, 2010).

### **Kapasitas Pertukaran Ion**

Kapasitas retensi hara biochar (dan tanah) bergantung pada kapasitas pertukaran kation dan kapasitas pertukaran anion (Chan & Xu., 2009). Kation (bermuatan positif ion) dan anion (ion bermuatan negatif) tertarik dengan muatan berlawanan. Unsur hara tanaman seperti kalsium, kalium, fosfor, dan nitrogen ada di larutan tanah; terutama sebagai kation dan anion dalam beberapa kasus. Pada tanah, partikel kecil, seperti humus dan tanah liat, membawa muatan negatif dan karena itu menarik kation, sedangkan anion relatif bebas bergerak dalam larutan tanah dan keduanya bebas tersedia untuk diserap oleh tanaman dan untuk pencucian. Kapasitas tukar kation menentukan kemampuan tanah untuk menahan kation dan, sebagai aturan umum, semakin tinggi kapasitas pertukaran kation, tanah semakin subur.



Biochar memiliki kapasitas pertukaran anion yang cukup dan karena itu dapat menyerap anion unsur hara (seperti nitrat dan fosfat). Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600 °C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al.*, 2007; Lehmann, 2007a; Navia & Crowley, 2010). Temuan ini akan menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit, sementara kapasitas tukar anion mereka adalah substansial.

Kapasitas pertukaran kation biochar tinggi memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dan kontaminan organik seperti pestisida dan herbisida dari lingkungan (Navia & Crowley, 2010). Penambahan biochar untuk tanah pertanian sebagai sebuah amelioran tanah yang diperkirakan mempengaruhi efektivitas bahan kimia pertanian, seperti herbisida dan pestisida (Jones *et al.*, 2011a; Kookana, 2010; Smernik, 2009). Efek ini perlu dipahami sebelum aplikasi luas dari biochar untuk tanah pertanian.

### 2.3. LAHAN KERING

Menurut FAO (2008) lahan kering yang diklasifikasikan dengan *arid* (masa pertanaman 1-59 hari), *semi arid* (masa pertanaman 60-119 hari) dan *arid* basah (masa pertanaman 120-179 hari). Dengan demikian lahan kering adalah pertanian dengan masa pertanaman 1-179 hari dan tidak memiliki fasilitas pengairan. Sawah tadah hujan juga tidak termasuk dalam lahan kering. Menurut Satari (1977) lahan yang dalam keadaan alamiah, lapisan atas dan bawah tubuh tanah (*top soil* dan *sub soil*) sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada dibawah kapasitas lapang. Lahan kering adalah lahan yang hampir sepanjang tahun tidak tergenang secara permanen. Ahli tanah Indonesia memberikan batasan lahan kering adalah lahan dimana kebutuhan air tanaman tergantung sepenuhnya air hujan dan tidak pernah tergenang secara tetap. Berdasarkan ketersediaan air untuk lahan pertanian, maka lahan budidaya pertanian dibedakan menjadi lahan basah (sawah) dan lahan kering (ladang). Lahan basah atau sawah seringkali diterjemahkan sebagai *wet land* atau *low land*, sedangkan lahan kering atau ladang diterjemahkan sebagai *dry land* atau *up land*. Lahan kering sendiri diartikan sebagai sebidang lahan yang mempunyai keterbatasan sumber air sepanjang tahun dan tidak pernah dalam keadaan tergenang. Akibat keterbatasan air maka kandungan lengas tanah selalu berada di bawah kadar air kapasitas lapangan. Selain itu perbandingan jumlah curah hujan yang tidak dapat diimbangi dengan kebutuhan air untuk evaporasi dan transpirasi sepanjang tahun seringkali

juga digunakan sebagai penjelasan istilah lahan kering.

Rehabilitasi lahan-lahan terdegradasi dapat mendukung optimalisasi lahan kering, antara lain dengan menanam legum penutup tanah atau tanaman penghasil bahan organik lainnya, khususnya yang bersifat insitu seperti *alley cropping* dan *strip cropping*. Penggunaan bahan pembenah tanah baik organik maupun mineral juga dapat merehabilitasi lahan terdegradasi. Pengaturan pola tanam dengan mengusahakan permukaan lahan selalu tertutup oleh vegetasi dan/atau sisa-sisa tanaman juga berperan penting dalam konservasi tanah. Pengaturan proporsi tanaman semusim dan tahunan pada lahan kering juga penting; makin curam lereng sebaiknya makin tinggi proporsi tanaman tahunan. Pengaturan jalur penanaman atau bedengan yang searah kontur juga berkontribusi dalam mencegah erosi.

Lahan kering merupakan salah satu agroekosistem yang mempunyai potensi besar untuk usaha pertanian, baik tanaman pangan, hortikultura (sayuran dan buah-buahan) maupun tanaman tahunan dan peternakan. Berdasarkan arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia skala 1 : 1.000.000 (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat 2001), Indonesia memiliki daratan sekitar 188,20 juta ha terdiri atas 148 juta ha lahan kering (78%) dan 40,20 juta ha lahan basah (22%). Namun tidak semua lahan kering sesuai untuk pertanian, terutama karena adanya faktor pembatas tanah seperti lereng yang sangat curam atau solum tanah dangkal dan berbatu, atau termasuk kawasan hutan. Dari total luas 148 juta ha, lahan kering yang sesuai untuk budidaya pertanian hanya sekitar 76,22 juta ha (52%), sebagian besar terdapat di dataran rendah (70,71 juta ha atau 93%) dan sisanya di dataran tinggi. Di wilayah dataran rendah, lahan datar bergelombang (lereng <15 %) yang sesuai untuk pertanian tanaman pangan mencakup 23,26 juta ha. Lahan dengan lereng 15-30 % lebih sesuai untuk tanaman tahunan (47,45 juta ha). Di dataran tinggi, lahan yang sesuai untuk tanaman pangan hanya sekitar 2,07 juta ha, dan untuk tanaman tahunan 3,44 juta ha.

Lahan pertanian Indonesia meliputi 70,20 juta ha, sekitar 61,53 juta ha diantaranya berupa lahan kering dengan produktivitas relatif rendah, jauh di bawah potensi hasil. Produktivitas padi gogo berkisar antara 2-3 t/ha, padahal potensinya dapat mencapai 4-5 t/ha. Demikian juga komoditas lain, seperti kedelai, masih dapat ditingkatkan. Menurut Subandi (2007), peluang peningkatan produktivitas kedelai masih terbuka, karena hasil di tingkat petani (0,60-2 t/ha) masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan hasil di tingkat penelitian yang berkisar antara 1,70-3,20 t/ha. Selain meningkatkan produktivitas lahan kering yang sudah ada (*existing*), produksi bahan pangan dapat pula ditingkatkan melalui perluasan areal tanam pada lahan kering. Dari 76,22 juta ha lahan kering yang sesuai untuk pertanian, lahan yang telah

4  
digunakan (tegalan, perkebunan, kayu-kayuan dan pekarangan) baru mencapai 47,76 juta ha, sehingga masih tersedia 28,46 juta ha lahan untuk perluasan areal pertanian, termasuk lahan terlantar 13,77 juta ha.

34  
Kondisi luas lahan pertanian di Indonesia (lahan kering dan basah) di Indonesia 59,7 juta ha sedang di Jawa 9,6 juta ha. Luas lahan kering di Indonesia 51,7 juta ha, sedang di Jawa 6,1 juta ha. Hal ini berarti lahan pertanian berupa lahan kering di Indonesia adalah 86,24 %, sedang lahan pertanian di Jawa berupa lahan kering 63,54%. Potensi lahan kering memiliki prospek yang baik dan menjadi tumpuan untuk penyediaan lahan di Indonesia. Dari luas total lahan kering Indonesia sekitar 148 juta ha, 102,80 juta ha (69,46%) merupakan tanah masam. Tanah tersebut didominasi oleh Inceptisol, Ultisol dan Oxisol, dan sebagian besar terdapat di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Lahan kering masam di wilayah berbukit dan bergunung cukup luas, mencapai 53,50 juta ha atau 52% dari total tanah masam di Indonesia. Tanah masam dicirikan oleh pH rendah (<5,50), kadar Al tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan basa-basa dapat ditukar dan KTK rendah, kandungan besi dan mangan mendekati batas meracuni tanaman, peka erosi, dan miskin unsur biotik.

Di Indonesia, lahan kering sebagian besar terdapat di wilayah bergunung (> 30%) dan berbukit (15-30%), dengan luas masing-masing 51,30 juta ha dan 36,90 juta ha (Hidayat dan Mulyani, 2002). Lahan kering berlereng curam sangat peka terhadap erosi, terutama bila diusahakan untuk tanaman pangan semusim dan curah hujannya tinggi. Lahan semacam ini lebih sesuai untuk tanaman tahunan, namun kenyataannya banyak dimanfaatkan untuk tanaman pangan, sedangkan perkebunan banyak diusahakan pada lahan datar bergelombang dengan lereng < 15%. Lahan kering yang telah dimanfaatkan untuk perkebunan mencakup 19,60 juta ha (Badan Pusat Statistik, 2005), terutama untuk tanaman kelapa sawit, kelapa dan karet.

Kabupaten Malang sebagian bagian kecil dari wilayah Jawa Timur di Indonesia, penataan dan penggunaan wilayah dikembangkan melalui perencanaan dengan ditetapkan melalui Peraturan Daerah tentang RTRW (Rencana Tata Ruang dan Wilayah) PP. No.41/2010. Wilayah Kabupaten Malang dikelompokkan menjadi kawasan pertanian sawah, kawasan tegalan (tanah ladang), kawasan pengelolaan lahan kering, kawasan perkebunan, kawasan hortikultura, kawasan peternakan dan kawasan perikanan. Kawasan tegalan (tanah ladang) pengusaha pertanian mengandalkan air hujan (tadah hujan) seluas 113.582,12 ha atau 32,73% dari luas daerah Kabupaten Malang. Upaya pengelolaan kawasan tegalan meliputi (a) kawasan pertanian lahan kering secara fisik dikembangkan tanaman tahunan dengan dukungan pola tanam tumpangsari palawija dengan hortikultura, (b) pengembangan perkebunan skala kecil, dan (c) dukungan pengembangan ekonomi memungkinkan alih fungsi lahan menjadi area terbangun. Lebih lanjut kawasan



pengelolaan lahan kering diarahkan melalui (a) pengembangan palawija dan hortikultura dengan mengutamakan komoditas tanaman yang bernilai ekonomi tinggi dan adaptasi lingkungan dan (b) kawasan ini guna mendukung pengembangan ekonomi pedesaan sehingga alih fungsi lahan pada beberapa area mempunyai nilai tambah pada perkembangan ekonomi pedesaan.

Kabupaten Malang terluas ketiga di Pulau Jawa setelah Kabupaten Banyuwangi dan Kabupaten Sukabumi di Provinsi Jawa Barat. Menurut Dinas Pertanian dan Perkebunan, sebagian besar wilayah Kabupaten Malang merupakan lahan pertanian, yaitu sekitar 15,44% (49.52ha) merupakan lahan sawah; 31,11% (99.76 ha) adalah tegal/ladang/kebun; 6,11% (19.58 ha) adalah areal perkebunan; dan 2,56% (6.40 ha) adalah hutan. Kondisi lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan terdiri atas beberapa jenis tanah, diantaranya Litosol, Entisol, dan Inseptisol yang secara alamiah mempunyai produktivitas yang rendah. Lahan kering di Kabupaten Malang sangat potensial dikembangkan untuk pertanian. Wilayah Kecamatan Poncokusumo, Donomulyo, dan Kalipare memiliki sifat dan ciri tanah yang berbeda. Secara geografis, Desa Purwodadi (Kecamatan Donomulyo) terletak di dataran tinggi dengan jenis Litosol. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30cm), tergolong tanah muda yang miskin unsure hara, bukan termasuk tanah yang subur dan tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah lainnya. Lahan mengalami kesulitan air di musim kemarau sehingga dibiarkan kosong untuk ditumbuhi rerumputan. Wilayah Kalipare (tanah Inseptisol) terletak di lereng gunung Kendeng dengan areal pertanian yang tidak mampu dijangkau oleh pengairan sistem irigasi sehingga mengakibatkan pertanian lahan kering/tadah hujan, tanahnya dengan komposisi liat tinggi dan sangat keras sehingga tidak ada tanaman yang bisa tumbuh. Jenis tanah Entisol (Kecamatan Poncokusumo) termasuk tanah muda yang tanpa perkembangan profil. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Tanah tersusun dari mineral dan bahan organik yang berperan penting dalam menyediakan air dan unsur hara bagi keberlangsungan pertumbuhan tanaman. Bahan induk tanah akan mempengaruhi bahan organik dan atau mineral tanah. Litosol tergolong tanah muda yang berasal dari batuan beku atau sedimen yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna dan belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal. Litosol bukan merupakan tanah yang subur sehingga tidak banyak tanaman yang

bisa ditanam. Entisol masih sangat muda dan baru tingkat permulaan dalam perkembangan, berasal dari bahan induk material vulkanik dan memiliki butir kasar. Umur tanah yang masih muda menjadikan miskin bahan organik sehingga tanah tidak dapat menyimpan air dan mineral yang dibutuhkan tanaman dan kurang menguntungkan bagi sebagian tumbuhan. Inseptisol merupakan tanah hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen, mampu menyediakan dan menampung air yang banyak, bersifat asam, dan bahan induknya terdiri atas kapur sehingga permeabilitasnya lambat. Tanah ini berwarna kecoklatan, keras dan tidak subur.

Beberapa lahan berasal dari bahan induk yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna, bahkan ada lahan yang tidak digunakan untuk pertanian karena hampir semua jenis tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik, ada pula yang ditanami sayuran yang pertumbuhannya kurang baik. Menurut Dinas Pertanian dan Perkebunan, sebagian besar wilayah Kabupaten Malang merupakan lahan pertanian, yaitu sekitar 15,44% (49.52 ha) merupakan lahan sawah; 31,11% (99.76 ha) adalah tegal/ladang/kebun; 6,11% (19.58 ha) adalah areal perkebunan; dan 2,56% (6.40 ha) adalah hutan. Lahan kering sangat potensial dikembangkan dan perlu dioptimalkan karena terbatasnya lahan pertanian subur dan sebagian besar adalah lahan sub optimal. Lahan sub optimal yang paling luas ialah lahan kering yaitu 122,1 juta ha yang terdiri atas lahan kering masam 108,8 juta ha dan lahan kering iklim kering 13,3 juta ha (Mulyani dan Sarwani, 2013).

Lahan kering banyak menghadapi kendala, diantaranya adalah ketersediaan air, kemasaman tanah dan rendahnya kandungan bahan organik tanah. Hal ini menyebabkan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan ketersediaan unsur hara menjadi rendah, ketidakseimbangan ruang pori tanah dalam mengisi air dan oksigen, dan bahkan tanah menjadi keras pada saat kering dan lunak pada saat basah. Akibat lebih lanjut adalah ketidakmampuan tanaman untuk tumbuh secara normal dan akan mengganggu hasil tanaman.

Lahan kering menghadapi kendala internal di dalam tanah maupun lingkungan eksternal. Kendala internal berhubungan dengan bahan induk tanah sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan dan perkembangan tanah, yang lebih lanjut akan mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. Faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas tanaman rendah karena keterbatasan air. Keterbatasan air pada lahan kering mengakibatkan usahatani tidak dapat dilakukan sepanjang tahun, dengan indeks pertanaman (IP) kurang dari 1,50. Penyebabnya antara lain adalah distribusi dan pola hujan yang fluktuatif, baik secara spasial maupun temporal. Wilayah Barat lebih basah dibandingkan dengan wilayah Timur dan secara temporal terdapat perbedaan distribusi hujan pada musim hujan



dan kemarau. Pada beberapa wilayah di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi, curah hujan melebihi 2.000 mm/tahun, sehingga IP dapat ditingkatkan menjadi 2-2,50 (Las *et al.*, 2000).

Pada umumnya lahan kering memiliki tingkat kesuburan tanah yang rendah, terutama pada tanah-tanah yang tererosi, sehingga lapisan olah dan kadar bahan organik rendah. Kondisi ini makin diperburuk dengan terbatasnya penggunaan pupuk organik, terutama pada tanaman pangan semusim. Di samping itu, secara alami kadar bahan organik tanah di daerah tropis cepat menurun akibat intensitas radiasi dan temperatur yang tinggi.

Erosi bukan hanya mengangkut material tanah, tetapi juga hara dan bahan organik, baik yang terkandung di dalam tanah maupun yang berupa *input* pertanian. Erosi juga merusak sifat fisik tanah. Oleh karena itu, penerapan teknik konservasi merupakan salah satu prasyarat keberlanjutan usaha tani pada lahan kering. Target yang harus dicapai ialah menekan erosi sampai di bawah batas toleransi dengan kisaran antara 1,10-13,50 t/ha/tahun, bergantung pada sifat tanah dan substratnya. Untuk menekan erosi sampai di bawah ambang batas toleransinya, beberapa jenis teknik konservasi dapat diterapkan dengan memperhatikan persyaratan teknis. Teras bangku merupakan teknik konservasi yang banyak diterapkan di Jawa dan Bali. Teknik ini telah dikembangkan secara luas sejak tahun 1975 melalui inpres penghijauan.

Pengolahan tanah secara intensif merupakan penyebab penurunan produktivitas lahan kering. Hasil penelitian menunjukkan pengolahan tanah yang berlebihan dapat merusak struktur tanah dan menyebabkan kehilangan bahan organik tanah. Beberapa masalah yang mempengaruhi kesuburan tanah di lahan kering adalah kemasaman tanah, ketersediaan air dan unsur hara rendah, kondisi fisik tanah yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman, dan ketidakseimbangan di antara air dan udara. Ketidakseimbangan akan menjadi faktor pembatas yang dapat mengganggu keadaan optimumnya sehingga kurang menunjang produktivitas tanaman. Kemampuan tanah untuk menahan air dan unsur hara menjadi keutamaan dalam meningkatkan hasil tanaman. Menurut Haryono (2013), optimalisasi lahan sub optimal meliputi produktivitas, efisiensi produksi, kelestarian sumberdaya dan lingkungan serta kesejahteraan petani melalui intensifikasi dan ekstensifikasi lahan sub optimal yang terdegradasi atau terlantar.

Setiap jenis tanah yang memiliki karakteristik sifat yang berbeda tentu akan berbeda dalam menanggapi suatu masukan bahan organik. Bahan baku dan kondisi produksi biochar dapat mempengaruhi kualitas biochar maupun dampaknya pada perubahan sifat-sifat tanah. Demikian pula jenis pupuk organik yang digunakan dapat mempengaruhi kualitas pupuk itu sendiri maupun pengaruhnya ketika

diaplikasikan di dalam tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda. Beberapa jenis tanah yang ada di Kabupaten Malang, diantaranya:

### 2.3.1. Litosol

Setiap jenis tanah memiliki sifat dan ciri yang berbeda, seperti luas permukaan partikel tanah yang sangat mempengaruhi kapasitas memegang air dan unsur hara. Litosol Dalam USDA, Litosol termasuk dalam ordo Entisol, sama dengan tanah Entisol. Jenis tanah yang berbatu-batu dengan lapisan tanah yang tidak terlalu tebal. Litosol merupakan tanah muda yang berasal dari pelapukan batuan yang keras dan besar serta miskin unsur hara sehingga bukan tanah yang subur dan tidak banyak tanaman yang bisa ditanam pada tanah Litosol.

Proses terbentuknya tanah Litosol dari pelapukan batuan beku dan sedimen yang masih baru (belum sempurna) sehingga butiran besar/kasar. Jenis tanah ini juga disebut tanah azonal. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30 cm) bahkan kadang-kadang merupakan singkapan batuan induk (outcrop). Tekstur tanah beranekaragam, dan pada umumnya berpasir, umumnya tidak berstruktur, terdapat kandungan batu, kerikil dan kesuburannya bervariasi. Tanah Litosol dapat dijumpai pada segala iklim, umumnya di topografi berbukit, pegunungan, lereng miring sampai curam.

Pemanfaatan tanah Litosol di Indonesia masih kurang maksimal. Tanah Litosol tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah yang lainnya. Bahkan ada di daerah tertentu yang menjadikan tanah Litosol ini hanya untuk lahan kosong yang dibiarkan untuk ditumbuhi rerumputan. Selain itu tanah Litosol memiliki karakteristik belum terbentuk akibat pelapukan, mempunyai penampang yang besar, berbentuk kerikil, pasir, dan bebatuan kecil, mengalami perubahan struktur atau profil dari batuan asal, mempunyai kandungan unsur hara rendah, terbentuk dari proses meletusnya gunung berapi, memiliki tekstur tanah yang bervariasi, memiliki kesuburan tanah yang bervariasi. Untuk mengembangkan tanah ini harus dilakukan dengan cara menanam pohon supaya mendapatkan mineral dan unsur hara yang cukup. Tekstur tanah Litosol bermacam-macam ada yang lembut, bebatuan bahkan berpasir (Ilmu Geografi.com, 2016).

Di sebagian daerah, tanah Litosol hanya digunakan sebagai lahan menanam rumput saja. Hal ini karena rumput-rumputan merupakan tumbuhan yang mampu bertahan hidup pada tanah yang kurang subur. Tanaman yang dapat tumbuh di tanah Litosol adalah rumput ternak, palawija, dan tanaman keras. Jenis tanah ini banyak ditemukan di lereng gunung dan pegunungan di seluruh Indonesia yang mengalami proses erosi parah. Litosol terdapat di wilayah yang tersusun dari batuan

kuarsit, konglomerat, granit, dan batu lapis. Jenis tanah ini juga dapat dijumpai di daerah sekitar pantai.

### 2.3.2. Mediteran

113

Tanah Mediteran termasuk ordo Inseptisol merupakan hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen. Disebut juga dengan tanah kapur karena terbentuk dari bebatuan kapur yang telah lapuk dan hancur yang memiliki unsur hara dalam jumlah yang sedikit sehingga tanah jenis ini tidak subur dan sangat mudah dilalui air. Tanah ini hanya berkontribusi sedikit dalam bidang pertanian, mengandung kalsium dan magnesium yang tinggi.

Tanah Inseptisol banyak terdapat di bawah tanaman hutan dengan karakteristik tanah, meliputi: akumulasi lempung pada horizon Bt, horizon E yang tipis, mampu menyediakan dan menampung banyak air, dan bersifat asam. Tanah Inseptisol mempunyai tekstur lempung dan bahan induknya terdiri atas kapur sehingga permeabilitasnya lambat (Graha, 2015). Tanah-tanah yang terdapat penimbunan liat di horizon bawah (terdapat horizon argilik) dan mempunyai kejenuhan basa tinggi yaitu lebih dari 35% pada kedalaman 180 cm dari permukaan tanah. Liat yang tertimbun di horizon bawah ini berasal dari horizon di atasnya dan tercuci kebawah bersama dengan gerakan air.

Tanah Inseptisol yang berbahan induk batu kapur mempunyai nilai pH yang lebih tinggi dibanding dari yang berbahan induk batu pasir. pH tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bahan induk tanah, pengendapan, vegetasi alami, pertumbuhan tanaman, kedalaman tanah dan pupuk nitrogen. Masalah utama dari jenis tanah Inseptisol adalah ketersediaan air dan tingginya pH tanah yang seringkali di atas 7. Tanah yang bersifat alkalis mengikat fosfat sehingga akan menjadi kendala bagi tanaman untuk tumbuh.

Tanah Inseptisol memiliki kandungan karbonat yang cukup besar sehingga tanah ini bisa berwarna merah kekuningan maupun abu-abu. Selain karbonat juga ada mengandung besi, air, aluminium, dan beberapa bahan organik lain yang membuat tanah menjadi agak subur. Biasanya tanah Inseptisol digunakan untuk lahan pertanian khususnya menanam padi sawah.

Sifat fisik tanah Inseptisol merah kuning memiliki tekstur tanah bervariasi mulai dari geluh hingga lempung. Struktur ini beraneka ragam ukurannya ada yang kecil ada juga yang besar tergantung bahan organik pengikatnya. Konsistensi tanah Inseptisol merah kuning ini bervariasi mulai dari gembur hingga teguh. Hal ini merupakan konsistensi pada tanah lembab, pada umumnya konsistensi lembab ini terjadi pada tanah yang relatif lapang.

### 2.3.3. Regosol

27

Regosol termasuk ordo Entisol merupakan tanah yang masih sangat muda yaitu baru tingkat permulaan dalam perkembangan. Tanah belum mengalami perkembangan yang sempurna dan hanya memiliki horizon A yang marginal. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Iklim yang sangat ekstrim basah atau kering, sehingga perombakan bahan induk terhambat. Adanya faktor erosi yang selalu menggerus epipedon, sehingga tidak pernah terbentuk horizon iluviasi. Terbentuk dibawah pengaruh iklim kering dengan bahan induk didominasi mineral kuarsa yang sangat resisten terhadap pelapukan. Reaksi-reaksi kimia dalam tanah berlangsung sangat lambat dan cenderung miskin hara. Umur tanah masih muda dengan bahan organik yang rendah sehingga tidak dapat menampung air dan mineral yang mendukung pertumbuhan tanaman. Selain itu Entisol merupakan salah satu jenis tanah marginal di daerah beriklim tropika basah yang mempunyai produktivitas rendah tetapi masih dapat dikelola dan digunakan untuk usaha pertanian. Tanah Entisol memiliki ciri-ciri: berbutir kasar, berwarna kelabu sampai kuning.

Tanah Entisol sangat cocok untuk pertanian khususnya tanaman padi, kelapa, tebu, palawija, tembakau, dan sayuran. Hal inilah yang menyebabkan tanah di lereng gunung berapi yang baru saja mengalami erupsi sangat subur dan sangat baik untuk pertanian. Tanah Entisol terjadi akibat adanya erupsi gunung berapi yang terjadi bertahun-tahun sebelumnya. Tanah Entisol memiliki tekstur tanah biasanya kasar, struktur lemah, konsentrasi lepas sampai gembur dan pH 6-7. Umumnya jenis tanah ini belum membentuk agregat sehingga peka terhadap erosi, cukup mengandung unsur P dan K dan belum tersedia untuk diserap tanaman dan kandungan N rendah. Kendala utama pada Entisol adalah keterbatasan air karena tekstur tanah dan rendahnya bahan organik tanah sehingga menyebabkan daya simpan tanah terhadap air menjadi rendah dan kesuburan tanah juga rendah.

Karakteristik setiap jenis tanah yang digunakan pada kajian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Tanah Entisol bertekstur pasir berlempung yang memiliki karbon organik yang sangat rendah dengan fraksi pasir 86%. Tanah Litosol dan Inseptisol bertekstur liat, masing-masing 65% dan 76%. Karbon organik tanah rendah (Litosol) dan sangat rendah (Inseptisol). Semua tanah memiliki C/N yang rendah dan pH masam (Inseptisol dan Entisol) sampai agak masam (Litosol).



Tabel 2. Karakteristik tanah sebelum pemberian biochar dan pupuk organik (kondisi awal)

Parameter	Litosol	Inseptisol	Entisol
pH H <sub>2</sub> O	6,40	5,30	5,70
pH KCl 1N	6,10	5,00	5,30
C organik (%)	1,36	0,72	0,48
N total (%)	0,17	0,10	0,07
C/N	8	7	7
P.Brays (mg kg <sup>-1</sup> )	45,65	45,65	106,52
K (me/100g)	0,35	0,34	0,36
Na (me/100g)	0,37	0,37	0,31
Ca (me/100g)	25,83	12,44	5,14
Mg (me/100g)	1,42	4,73	0,79
CTC (me/100g)	32,68	30,43	12,40
Jumlah basa (me/100g)	27,97	17,88	6,6
KB (%)	86	59	53
Pasir (%)	11	9	86
Debu (%)	24	15	3
Liat (%)	65	76	11
Tekstur	liat	liat	Pasir berlempung



### BAB III. PERMASALAHAN KETIDAKSEIMBANGAN UNSUR HARA N, P, K DAN KESUBURAN TANAH PADA LAHAN KERING DAN STRATEGI PENYELESAIAN

#### 3.1. PERMASALAHAN KETIDAKSEIMBANGAN UNSUR HARA N, P, K PADA LAHAN KERING TERDEGRADASI DAN STRATEGI PENYELESAIAN

##### 3.1.1 LATAR BELAKANG

Pengelolaan hara dengan bahan organik merupakan salah satu upaya untuk mengoptimalkan lahan kering. Bahan organik tanah merupakan faktor penting yang menentukan kesuburan dan produktivitas tanah. Hasil-hasil penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik dapat meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman. Reaktivitas biochar dan atau pupuk organik di dalam tanah dapat bervariasi dalam mempengaruhi kesuburan tanah. Penggunaan bahan organik yang bersifat mudah maupun sulit dilapuk sebagai alternatif yang memiliki keuntungan masing-masing, baik sebagai penyedia unsur hara maupun pembenah tanah. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kemampuan tanah menahan air, kelembaban tanah, pH tanah, penyediaan unsur hara, efisiensi pemupukan dan memperbaiki agregasi tanah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan manfaat penggunaan, seperti aplikasi  $20 \text{ t ha}^{-1}$  biochar serasah jagung dan  $40 \text{ t ha}^{-1}$  serasah jagung meningkatkan 242,95% P tersedia dan 10,4% KTK tanah (Inseptisol) di lahan kering Malang Selatan. Pemberian  $20 \text{ t ha}^{-1}$  biochar serasah jagung menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%). Tinggi tanaman jagung berumur 49 HST berkisar 71,13 dan 92,90 cm (Sonia *et al.*, 2014).

Pengaruh amandemen biochar terhadap produktivitas jagung sebelumnya telah terbukti meningkatkan produktivitas tanaman dengan meningkatkan sifat fisik dan biokimia tanah yang dibudidayakan (Asai *et al.*, 2009; Mayor *et al.*, 2010b.). Tanaman menanggapi perubahan biochar tergantung pada sifat kimia dan fisika dari biochar, kondisi iklim, kondisi tanah dan jenis tanaman (Zwieten *et al.*, 2010; Yamato *et al.*, 2006; Gaskin *et al.*, 2010; Haefele *et al.*, 2011). Asai *et al.* (2009) melaporkan penurunan hasil padi gogo (*Oryza sativa* L.) berikut penerapan amandemen biochar saja tanpa pemupukan N dalam tanah yang kekurangan N. Namun dalam Ultisol terdegradasi (asam, sangat lapuk dan tanah yang miskin hara) dari Kenya, Kimetu *et al.* (2008) melaporkan hasil jagung kumulatif untuk menggandakan setelah aplikasi biochar diulang tiga dari  $7 \text{ t ha}^{-1}$  lebih dari 2 tahun. Namun, Dalam studi sebelumnya, peningkatan efisiensi penggunaan N pada produktivitas beras dan agronomi lebih tinggi ditemukan di sebuah tanah sawah kaya karbon organik tanah berikut aplikasi

biochar pada tingkat 10 t ha<sup>-1</sup> dan 40 t ha<sup>-1</sup>. Penelitian pada berkapur yang miskin karbon organik tanah, efisiensi penggunaan N pada agronomi juga meningkat secara signifikan di bawah amandemen biochar. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amandemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009).

Banyak penelitian telah membuktikan bahwa penggunaan biochar dapat memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan hasil tanaman (Lehman *et al.*, 2003). Chan *et al.* (2008) dan Tagoe *et al.* (2008) menggunakan biochar berbahan baku kotoran ayam untuk memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan hasil tanaman. Penambahan unsur hara dengan menggunakan pupuk anorganik atau organik biasanya penting untuk produktivitas tinggi dan meningkatkan respon positif dari biochar. Manfaat dari biochar dalam meningkatkan hasil panen dan kualitas tanah telah dilaporkan (Iswaran *et al.*, 1980; Glaser *et al.*, 2002a). Disamping biochar sebagai sumber hara, aplikasi biochar saja dapat meningkatkan kadar NPK tanah yang sangat baik untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Widowati (2009) melaporkan bahwa dekomposisi dan mineralisasi bokasi pupuk kandang ayam dari alas kandang sistem *litter* pada kondisi tercuci di laboratorium sebesar 31,45 kg N/ha (1 minggu), 10.091,6 kg N/ha (4 minggu), dan 13.240,44 kg/ha (8 minggu). Biochar meningkatkan porositas tanah dan kapasitas penyangga kelembaban yang menghasilkan pertumbuhan tanaman dan akar yang lebih baik (Khishimoto dan Sigiura, 1985). Hasil penelitian Yamato *et al.* (2006) menunjukkan bahwa penggunaan biochar dari kayu accasia dapat meningkatkan hasil tanaman jagung, kacang tunggak dan kacang tanah. Penggunaan biochar dari bahan limbah hasil pertanian telah terbukti, di samping meningkatkan hasil tanaman wortel, juga meningkatkan kandungan N (Chan *et al.*, 2007). Menurut Widowati *et al.* (2016), aplikasi biochar yang ditambah pupuk P dan K pada tanaman jagung musim tanam pertama dapat memberi efek residu hara P dan K pada musim tanam kedua. Residu biochar secara mandiri maupun dikombinasi dengan pupuk K berbagai dosis dapat meningkatkan hasil jagung pada musim tanam kedua. Residu biochar meningkatkan ketersediaan unsur hara N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> di dalam tanah setelah musim tanam jagung kedua (Widowati *et al.*, 2017).

Aplikasi biochar ke tanah pertanian untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman, mengurangi tingkat pencucian hara, atau bahkan memasok unsur hara tanaman (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Mayor *et al.*, 2010). Beberapa penelitian telah mempelajari kemampuan biochar untuk mempertahankan unsur hara dari kehilangan melalui pencucian. Biochar yang dihasilkan dari residu hutan sekunder secara signifikan mengurangi pencucian pupuk N dan meningkatkan pertumbuhan tanaman dan unsur hara tanaman

(Lehmann *et al.*, 2003). Biochar bambu menunjukkan ion ammonium diserap dengan pertukaran kation dan menghambat gerakan vertikal ammonium ke lapisan tanah yang lebih dalam setelah 70 hari pengamatan (Ding *et al.*, 2010). Biochar kayu dapat mengurangi jumlah pencucian N dan P masing-masing sebesar 11% dan 69% (Laird *et al.*, 2010). Pada 1-30 hari setelah tanam, pencucian nitrat berkurang dengan menggunakan biochar, pencucian nitrat terendah pada dosis 45 t ha<sup>-1</sup> dengan biochar kayu tetapi biochar tempurung 45 t ha<sup>-1</sup> menghasilkan pencucian K tertinggi. Pada 30-60 hst, biochar kayu dan tempurung menghasilkan pencucian nitrat yang sama pada berbagai dosis tetapi pencucian nitrat semakin banyak dengan bertambahnya dosis biochar sekam padi. Semua bahan biochar (sekam padi, tempurung kelapa muda, dan kayu) menghasilkan pencucian kalium yang sama pada berbagai dosis (Widowati *et al.*, 2014). Apabila kehilangan unsur hara dapat ditekan maka unsur hara tersebut dapat dipertahankan di dalam tanah sehingga penggunaan pupuk anorganik dapat dikurangi.

Penggunaan pupuk berimbang ditujukan untuk mendapatkan status ketersediaan unsur hara yang seimbang sehingga produksi tanaman dapat dioptimalkan dan efisiensi pemakaian pupuk. Dampak selanjutnya terletak kepada pengurangan pencemaran lingkungan. Pemupukan sangat penting dalam upaya meningkatkan kesuburan tanah dan tanaman khususnya di lahan kering pada tanah yang sedang mengalami degradasi. Pemupukan perlu mempertimbangkan kebutuhan tanaman serta kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara. Pemberian pupuk yang berlebih merupakan tindakan pemborosan dan dapat mengganggu keseimbangan unsur hara. Setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang berbeda, apalagi jika ada penambahan biochar yang tentu akan mempengaruhi sifat-sifat tanah. Hal ini menyebabkan pentingnya mendapatkan pemupukan yang seimbang melalui jenis unsur hara yang ditambahkan pada lahan kering yang terdegradasi, khususnya pada tanaman jagung. Tujuan pemberian pupuk untuk mencapai tingkat ketersediaan unsur hara yang seimbang dan optimum bagi peningkatan hasil tanaman, efisiensi pemupukan, kesuburan tanah, serta menekan tingkat pencemaran lingkungan. Pendekatan dengan teknologi pemupukan berimbang dianggap tepat apabila diterapkan pada spesifik lokasi. Pemupukan berimbang berarti memberikan pupuk N, P dan K yang sesuai target hasil yang akan dicapai. Balai Penelitian Tanah (2008) mengungkapkan bahwa pupuk yang rasional dan berimbang dapat tercapai apabila takaran pupuk memperhatikan status hara serta kebutuhan tanaman untuk mencapai hasil yang optimal.

Pengurangan jumlah pupuk N, P, K pada tanah yang diberi biochar tentunya dipengaruhi oleh bahan baku yang digunakan untuk membuat biochar.



Biochar dihasilkan dari berbagai residu yang mempunyai karakteristik yang berbeda sehingga akan mempengaruhi kandungan hara dalam biochar. Kekang dan Pritchard (2004) melaporkan jenis biomassa bahan baku memiliki pengaruh signifikan terhadap nutrisi biochar. Misalnya kandungan fosfat dan nitrogen dari biochar yang dihasilkan dari limbah lumpur dan bahan baku kotoran unggas lebih tinggi dari yang berasal dari biomassa tanaman untuk kondisi pirolisis yang sama. Kandungan nitrogen total biochar dari limbah lumpur 6,4 g kg<sup>-1</sup> pada 450°C. Chan *et al* (2007a) menemukan bahwa kandungan N total biochar dari kotoran unggas adalah 20 g kg<sup>-1</sup> dan 1,7 g kg<sup>-1</sup> dari limbah hijau pada suhu pirolisis yang sama. Biochar kayu memiliki kadar fosfat total yang rendah (0,13 g kg<sup>-1</sup>), sedangkan fosfat total dalam biochar unggas jauh lebih tinggi (5,8 g kg<sup>-1</sup>) (Singh *et al*, 2010a).

Oleh karena itu dianggap penting meningkatkan hasil per satuan luas bagi produksi pangan khususnya pada tanah yang sedang mengalami degradasi. Permasalahannya adalah bagaimana mengembangkan teknologi pemupukan berimbang dengan aplikasi biochar pada pertumbuhan dan produksi tanaman di lahan kering yang terdegradasi. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik dan menekan dampak buruk bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi jenis biochar dan perimbangan pupuk N, P, K terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada tanah yang sedang mengalami degradasi, untuk mempelajari pengaruh perimbangan N, P, K dan biochar terhadap serapan hara N, P, K, dan untuk mempelajari pengaruh perimbangan pupuk N, P, K dan biochar terhadap ketersediaan hara N, P, K total dan tersedia di dalam tanah.

### 3.1.2 STRATEGI PENYELESAIAN

Sampel tanah Alfisol diambil dari Desa Jatikerto, Kecamatan Sumber Pucung, Kabupaten Malang pada kedalaman 15-20 cm. Lokasi pengambilan tanah dari lahan yang sedang mengalami proses degradasi akibat pengambilan tanah bagian atas secara terus menerus untuk pembuatan batu bata. Tanah ditempatkan dalam polibag sebanyak 20 kg. Penelitian dilakukan di lapangan (Desa Bawang, Kecamatan Tunggulwulung, Kotamadya Malang) mulai Februari–Mei 2015. Karakteristik tanah selengkapnya dilaporkan oleh Widowati *et al*. (2014). Jenis biochar dihasilkan dari bahan baku biomassa: sekam padi, tempurung kelapa muda, kayu. Informasi rinci tentang biochar dilaporkan sebelumnya (Widowati *et al*., 2014).

Masing-masing percobaan diatur dalam rancangan acak kelompok yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah jenis biochar (sekam padi, tempurung kelapa muda, kayu). Biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda sebanyak 30 t ha<sup>-1</sup> dan biochar kayu sebanyak 15 t ha<sup>-1</sup>. Setiap jenis biochar menggunakan dosis



terbaik dari hasil penelitian tentang pengaruh jenis dan dosis biochar terhadap tanaman pertumbuhan dan hasil tanaman jagung di Alfisol. Faktor kedua adalah perimbangan pupuk N, P, K. Perlakuan terdiri atas 5 level, yaitu : (1). Ditambah pupuk N, P, K atau +NPK ( $N_{300}P_{50}K_{100}=300 \text{ kg ha}^{-1}$  urea,  $50 \text{ kg ha}^{-1}$   $SP_{36}$ ,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  KCl); (2). Tidak ditambah pupuk N, P, K atau -NPK ( $N_{100}P_{50}K_{33}=100 \text{ kg ha}^{-1}$  urea,  $50 \text{ kg ha}^{-1}$   $SP_{36}$ ,  $33 \text{ kg ha}^{-1}$  KCl); (3). Ditambah pupuk N dan P atau NP ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$  urea dan  $50 \text{ kg ha}^{-1}$   $SP_{36}$ ); (4). Ditambah pupuk N dan K atau NK ( $N_{300}P_{0}K_{100}=300 \text{ kg ha}^{-1}$  urea dan  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  KCl); (5). Ditambah pupuk P dan K atau PK ( $N_{0}P_{50}K_{100}=50 \text{ kg ha}^{-1}$   $SP_{36}$  dan  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  KCl). Semua perlakuan diberi pupuk dasar (NPK) pada 7 hari setelah tanam (hst) sebanyak 1/3 dosis rekomendasi. Pemupukan kedua dilakukan pada 7 hst dengan menggunakan 2/3 dosis. Masing-masing perlakuan diulang tiga kali dan setiap satuan percobaan diulang sebanyak delapan kali, sehingga terdapat 360 unit percobaan. Percobaan ini menggunakan kontrol (tanpa biochar dan pupuk urea,  $SP_{36}$  dan KCl) yang diulang 3 kali dan masing-masing satuan percobaan diulang 8 kali.

Biochar diaplikasikan ke dalam tanah dan dicampur secara merata, kemudian dидiamkan selama 7 hari sebagai masa inkubasi. Biji jagung varietas Pertiwi 3 ditanam 3 biji per pot dan disisakan 1 tanaman setelah 7 hari. Pengamatan pertumbuhan dilakukan pada waktu 30 dan 60 hst, meliputi tinggi tanaman, diameter batang, luas daun, berat biomassa kering, dan berat akar kering. Tanaman jagung dipanen pada umur 120 hst. Pengamatan komponen hasil dan hasil jagung meliputi panjang tongkol, diameter tongkol, berat kering 100 butir, berat tongkol kering, berat kering jagung tanpa klobot, dan berat jagung pipilan kering.

Pengamatan sampel tanah dilakukan setelah masa inkubasi biochar ke dalam tanah (7 hst), saat tanaman umur 60 hst. Sampel tanah diambil di sekitar perakaran tanaman. Setelah inkubasi, sampel tanah dianalisis di laboratorium untuk N total dan N tersedia (amonium dan nitrat), P total dan P tersedia, K total dan K tersedia. N total dengan metode Kjeldahl, P total dan K total dengan HCl 25%, amonium dan nitrat dengan KCl 2M, K tersedia dengan  $NH_4OAC$  1N pH:7, dan P tersedia dengan P.Bray1. Analisis tanah pada umur tanaman 60 dan 120 hst meliputi N total dan tersedia, P total dan tersedia, serta K total dan tersedia.

Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam dalam rancangan acak kelompok faktorial dan dilanjutkan dengan uji BNJ untuk melihat perbedaan diantara perlakuan.

### 3.2. PERMASALAHAN KESUBURAN TANAH DI LAHAN KERING DAN STRATEGI PENYELESAIAN

#### 3.2.1. LATAR BELAKANG

Pengelolaan lahan kering dengan menggunakan bahan organik yang bersifat labil seperti pupuk organik berfungsi sebagai bahan sementasi yang meningkatkan agregasi tanah, sumber hara, dan menyediakan zat pengatur tumbuh tanaman yang memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman seperti vitamin, asam amino, auksin dan giberelin. Namun hingga kini dampak penggunaan pupuk organik secara berlanjut belum nampak. Karena bahan organik yang bersifat labil merupakan bahan organik yang mudah mengalami dekomposisi pada kondisi tropis. Tidak demikian dengan bahan organik yang bersifat stabil seperti biochar.

Pemberian biochar cukup satu kali aplikasi namun dapat memberi efek susulan dalam jangka panjang sehingga dapat mewujudkan pertanian berlanjut. Hasil penelitian Widowati (2012-2013) pada tanah Inceptisol menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang hanya 1 kali dapat mempertahankan hasil jagung selama tiga musim tanam meskipun tanpa penambahan pupuk SP36 dan KCl pada musim tanam kedua dan ketiga. Demikian pula hasil penelitian Widowati (2014-2015), penambahan biochar sebelum tanam pada Inceptisol yang sedang mengalami degradasi telah menghasilkan jagung pipilan kering yang relatif tetap selama tiga musim tanam.

Pengelolaan kesuburan tanah tidak terbatas pada peningkatan kesuburan kimiawi, tetapi juga kesuburan fisik dan biologi tanah. Hal ini berarti bahwa pengelolaan kesuburan tanah tidak cukup dilakukan hanya dengan memberikan pupuk saja, tetapi juga perlu disertai dengan pemeliharaan sifat fisik tanah sehingga tersedia lingkungan yang baik untuk pertumbuhan tanaman, kehidupan organisme tanah, dan untuk mendukung berbagai proses penting di dalam tanah.

Penerapan teknologi pemupukan organik juga sangat penting dalam pengelolaan kesuburan tanah. Pupuk organik dapat bersumber dari sisa panen, pupuk kandang, kompos atau sumber bahan organik lainnya. Selain menyumbang hara yang tidak terdapat dalam pupuk anorganik, seperti unsur hara mikro, pupuk organik juga penting untuk memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Lahan kering akan mampu menyediakan airdan hara yang cukup bagi tanaman bila struktur tanahnya baik sehingga mendukung peningkatan efisiensi pemupukan.

Pengelolaan lahan kering dengan bahan organik yang bersifat labil telah sering dilakukan, namun penggunaan biochar yang bersifat stabil telah populer dalam dekade terakhir. Karena struktur aromatikanya, karbon biochar lebih stabil

daripada karbon dalam biomassa asli sehingga dapat menurunkan laju dekomposisi bahan organik. Penggunaan mulsa, kompos, pupuk kandang dapat meningkatkan kesuburan tanah, meski begitu dalam kondisi tropis, dimineralisasi sangat cepat (Tiessen *et al.*, 1994). Steiner *et al.*, (2007) mengemukakan bahan organik tanah (BOT) penting untuk kesuburan tanah karena mengandung 95% dari total nitrogen dan sulfur bersama dengan 20-75% dari fosfor dalam tanah, sumber penting dari energi dan unsur hara untuk mikroorganisme dan tanaman. BOT adalah jantung dari tanah sehingga keberadaannya tidak dapat diabaikan karena memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Biochar adalah produk yang kaya karbon yang diperoleh dengan memanaskan biomassa dalam sistem tertutup dibawah pasokan oksigen yang terbatas dimaksudkan sebagai bahan amandemen tanah untuk menyerap karbon dan meningkatkan kualitas tanah. Konversi biomassa menjadi biochar dan menggunakan biochar sebagai amandemen tanah sebagai alternatif selain kompos (Srinivasarao *et al.*, 2013). Pengaruh agronomi dengan penambahan biochar telah ditemukan di berbagai lintang dengan kesuburan tanah yang rendah (Biederman dan Harpole, 2013; Liu *et al.*, 2013). Aplikasi biochar juga meningkatkan penyimpanan air tanah (Wangetal, 2016). Hal ini disebabkan oleh peningkatan kapasitas air kapiler tanah setelah aplikasi biochar sehingga menyebabkan peningkatan produktivitas budidaya tanaman, peningkatan aktivitas mikroba dalam tanah, dan tingkat yang lebih tinggi dari ketersediaan unsur hara, terutama P dan K (Biedermann dan Harpole, 2013). Kapasitas memegang air tanah dan air yang tersedia meningkat di tanah liat dan tanah lempung berpasir (Bruun *et al.*, 2014; Dugan *et al.*, 2010; Martinsen *et al.*, 2014). Kapasitas pegang air meningkat sebesar 11% Pada biochar (9 t ha<sup>-1</sup>) di tanah lempung berdebu, Finlandia Selatan (Karhu *et al.*, 2011). Peningkatan air yang tersedia karena dengan penambahan biochar memperbaiki struktur berpori (baik pori mikro dan meso) dan agregasi tanah (Obia *et al.*, 2016). Sifat kimia tanah juga diperbaiki seperti meningkatkan pH tanah (rasio Ca/Al yang lebih tinggi dan ketersediaan PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dan kejenuhan basa meningkat); meningkatkan kapasitas retensi hara dan KTK tanah (Chan *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2006) dan dengan demikian mengurangi pencucian hara (Hale *et al.*, 2013; Martinsen *et al.*, 2014).

Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008; Generasi bioenergi (Laird, 2008; Lehmann, 2007); adsorpsi polutan organik dan anorganik serta meningkatkan kesuburan tanah. Efek kesuburan tanah telah dijelaskan dalam hal penambahan unsur hara dengan biochar, juga oleh perubahan biochar secara fisik tanah, kimia atau sifat biologis (Kookana *et al.*, 2011; Oguntunde *et al.*, 2008; Thies dan Rilling, 2009). Namun,

mekanisme di balik pengaruh hasil yang diamati tetap tidak jelas. Hipotesis untuk efek ini termasuk peningkatan efisiensi pupuk penggunaan dengan mengurangi hilangnya unsur hara melalui pencucian (Laird *et al.*, 2010) Atau peningkatan ketersediaan hara karena peningkatan aktivitas mikroba, seperti jamur mikoriza arbuskula (AMF) (Warnock *et al.*, 2007). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa selain biochar ke tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan fiksasi nitrogen biologis (BNF) ketika kacang-kacangan yang hadir (Rondon *et al.*, 2007). Namun, mekanisme di balik efek ini juga masih belum jelas. Fiksasi N biologis diperkirakan berkontribusi kira-kira  $17,2 \times 10^7$  t nitrogen ke tanah secara global setiap tahun. Tanaman polongan telah diperkirakan berkontribusi sekitar setengah dari simbiosis BNF global diperkirakan  $21,5 \times 10^6$  t. Ini menunjukkan bahwa BNF adalah layanan ekosistem penting untuk pertanian global dan pemahaman seperti kemungkinan dampak dari aplikasi biochar pada layanan ini sangat penting.

Biochar memiliki potensi besar untuk perbaikan tanah karena fisik, kimia, dan biologi yang unik dan interaksinya dengan tanah dan tanaman. Jika digunakan sebagai amandemen tanah, biochar dapat mengurangi dampak negatif yang mungkin timbul. Sementara penambahan biochar sebagian besar telah menunjukkan pengaruh yang netral, positif, atau negatif (ditinjau oleh Sohi *et al.*, 2010). Ini menunjukkan perlunya pemahaman yang komprehensif asal biochar, produksi, dan sifat fungsional. Glaser *et al.* (2002) menyimpulkan bahwa pertumbuhan tanaman dan kinerja agronomi tergantung pada karakteristik biochar dan konsentrasi serta pada jenis tanah dan tanaman. Karakteristik biochar seperti karbon, luas permukaan, kadar abu, kandungan gizi, pH dan kapasitas tukar kation dapat bervariasi antara biochar karena kedua sifat bahan baku dan kondisi proses (Manya, 2012). Variasi dalam karakteristik biochar dan pupuk organik memerlukan penelitian lebih lanjut termasuk dampak dari karakteristik pada jenis tanah yang aplikasinya secara tunggal maupun campuran. Berbagai kondisi proses yang digunakan dalam studi literatur sering membuat sulit untuk membandingkan hasil mengenai efek dari karakteristik biochar. Disamping itu evaluasi pemberian biochar dan pupuk organik pada sifat fisik dan kimia beberapa jenis di lahan kering tanah masih terbatas sehingga penelitian ini perlu dilakukan. Permasalahan di lahan kering adalah kesuburan tanah yang rendah akibat dari kadar bahan organik tanah yang rendah sehingga menurunkan kesuburan tanah dari sifat fisik, kimia, dan biologi tanah untuk mendukung produksi tanaman pada berbagai jenis tanah. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan karakterisasi biochar-pupuk organik dan jenis tanah pada sifat fisik dan kimia tanah yang berimplikasi pada kesesuaian penggunaan biochar dan pupuk organik sebagai amandemen pada beberapa jenis tanah di lahan kering.



### 3.2.2 STRATEGI PENYELESAIAN

Percobaan inkubasi tanah yang diambil dari lahan kering dilakukan di rumah kaca Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang, Indonesia ( $7^{\circ}48'50''$ BS dan  $112^{\circ}37'41''$  BT) dengan suhu harian bervariasi sekitar  $16^{\circ}$ -  $36^{\circ}$ C dengan kelembaban relatif sekitar 43-86%, dan intensitas cahaya 365-1997 lux. Sampel tanah komposit 0-30 cm diambil dari lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan, tepatnya di Desa Purwodadi Kecamatan Donomulyo, Desa Sukowilangun Kecamatan Kalipare, dan Desa Sumberrejo Kecamatan Poncokusumo. Kecamatan Donomulyo terletak pada  $112^{\circ}23'30''$  –  $112^{\circ}29'64''$  BT dan  $8^{\circ}16'75''$  –  $8^{\circ}19'81''$  LS dengan tanah dari tipe Litosol Ordo Entisol. Bahan induk tanah Litosol dari jenis batuan beku atau sedimen keras yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna. Tanah tidak subur dan produktivitasnya rendah. Kecamatan Kalipare terletak  $21,95^{\circ}$  –  $29,61^{\circ}$  BT dan  $9,40^{\circ}$  –  $16,48^{\circ}$  LS dengan tanah Mediteran Merah Kuning Ordo Afisol. Tanah dari Kalipare tidak digunakan untuk pertanian karena hampir semua jenis tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik. Kecamatan Poncokusumo, berjarak tempuh ke ibu kota kabupaten kurang lebih sejauh 24 km dengan tanah Regosol Ordo Entisol. Tanah dari Poncokusumo ditanami sayuran yang pertumbuhannya kurang baik.

Sampel tanah kering udara pada suhu kamar dengan kadar air  $0,34 \text{ g g}^{-1}$  (Entisol);  $0,5 \text{ g g}^{-1}$  (Litosol); dan  $0,61 \text{ g g}^{-1}$  (Inseptisol). Tanah ditempatkan dalam pot plastik dengan menggunakan sampel tanah yang diambil dari 3 jenis tanah di Kabupaten Malang. Setiap sampel tanah ditempatkan ke dalam pot plastik (diameter 18 cm dan tinggi 25 cm). Perlakuan diatur dalam Rancangan Tersarang, yang terdiri atas 2 faktor. Faktor pertama adalah jenis tanah dari agroekosistem lahan kering yang produktivitasnya rendah, yaitu : (1). Inseptisol/Mediterran (Kec. Kalipare), (2). Inseptisol/Litosol (Kec. Donomulyo), (3). Regosol/Entisol (Kec. Poncokusumo). Faktor kedua adalah biochar-pupuk organik terdiri atas 12 perlakuan yang tersarang pada faktor pertama, yaitu:

1. Tanpa biochar-pupuk organik
2. Biochar sekam padi (S)
3. Biochar tongkol jagung (T)
4. Biochar jengkok tembakau (J)
5. Biochar sekam padi-kompos (SK)
6. Biochar sekam padi-kandang kotoran ayam (SA)
7. Biochar tongkol-kompos (TK)
8. Biochar tongkol- kandang kotoran ayam (TA)
9. Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam (JA)

10. Biochar jengkok tembakau-kompos (JK)
11. Kompos (K)
12. Pupuk kandang kotoran ayam (A)

Perlakuan diulang 3 kali. Kombinasi perlakuan sebanyak  $3 \times 12 \times 3 = 108$  pot. Percobaan inkubasi dilakukan dalam pot yang diletakkan di rumah kaca. Biochar maupun pupuk organik yang diberikan secara tunggal, masing-masing dengan dosis  $150 \text{ g pot}^{-1}$  tetapi jika digunakan secara bersama (campuran) maka dosis yang digunakan masing-masing menjadi  $75 \text{ g pot}^{-1}$ . Ini setara dengan amandemen biochar dan atau pupuk organik  $9,6 \text{ ton ha}^{-1}$  dalam lapisan olah 20 cm. Biochar-pupuk organik diaplikasikan ke dalam tanah dan dicampur secara merata dan dibiarkan selama 98 hari (14 minggu). Tanah sebanyak 3,85 kg dimasukkan ke dalam pot plastik dan ditambahkan dengan berlakuan menjadi  $4 \text{ kg pot}^{-1}$ . Inkubasi biochar-pupuk organik di dalam tanah dan diamati pada 7, 14, 28, 56, dan 95 hari. Selama inkubasi, kadar air tanah dipertahankan pada 0,11 - 0,18  $\text{g g}^{-1}$  (ekivalen dengan 70 - 80% dari kapasitas lapangan) dengan penambahan air 1 liter setiap 21 hari. Selama masa inkubasi (98 hari) diberi air di setiap 3 minggu (70-80% kapasitas lapangan). Setelah masa inkubasi dilakukan pengamatan terhadap sifat kimia, fisika, dan biologi tanah. Sifat kimia tanah diamati setiap masa inkubasi (5 kali pengamatan), meliputi pH dan C organik, KTK, KB, N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn. Sifat fisik tanah diamati pada awal sebelum penelitian dan pada inkubasi 98 hari. Pada awal penelitian dilakukan pengamatan sifat fisik, meliputi tekstur, bobot partikel tanah, kadar air (pF 0; 2; 4,2) secara gravimetrik untuk menentukan persentase ruang pori tanah. Pengamatan sifat fisik tanah pada akhir pengamatan meliputi bobot isi dan partikel, porositas, dan kadar air (pF). Dari kurva pF dapat dihitung persentase pori mikro, meso, dan makro. Kadar air tanah pada kurva 4,2 dikalikan dengan 100 (pori mikro), kadar air pada pF 2 dikurangi pF 4,2 dikalikan dengan 100 (pori meso), dan kadar air pada pF 0 dikurangi pF 2 dikalikan 100 (pori makro). Sifat fisik tanah diamati dengan menggunakan ring sample (diameter 5 cm dan tinggi 5,5 cm) yang dibenamkan sampai 15 cm dari permukaan tanah atas. Sifat biologi tanah diamati setelah 45 dan 98 hari, meliputi kandungan mikrobial (bakteri dan jamur). Pengamatan untuk evaporasi selama 4 kali yang dilakukan setiap 3 minggu sekali, dimulai pada 3,6,9,12 minggu. Pot plastik diberi air sampai kapasitas lapangan pada 1 hari setelah aplikasi biochar sebanyak 1-2 liter/pot plastik. Pemberian air dilakukan setiap 3 minggu sekali, sebanyak 1 liter per pot dengan menggunakan air sumur. Untuk pengamatan evaporasi dilakukan dengan penimbangan pot yang dilakukan satu hari sebelum dan sesudah pemberian air.

Distribusi ukuran partikel dengan metode pipet; karbon organik tanah dengan oksidasi menggunakan kalium dikromat. Bobot isi, bobot partikel, dan porositas dengan ring sampel. Perubahan sifat fisik tanah dalam menanggapi penggunaan jenis biochar dan pupuk organik bervariasi dengan jenis tanah. Jenis biochar dan atau pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bobot isi, bobot partikel, porositas, dan persentase pori-pori tanah (makro, meso, dan mikro) dengan nilai signifikan  $\alpha(=0.05)$ . Sampel tanah awal dan karakteristik biochar dan pupuk organik dianalisa di PT Sucofindo Surabaya dan PT Gudang Garam, Tbk Gempol Pasuruan. Kadar N, P, K tanah diamati setelah inkubasi 7 HST dan dianalisa di Laboratorium Tanah Universitas Brawijaya. Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam sesuai rancangan dan dilanjutkan dengan uji DMRT.

#### BAB IV. PENGGUNAAN BIOCHAR DAN PERIMBANGAN PUPUK N, P, K UNTUK MEINGKATKAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN JAGUNG DI LAHAN KERING

##### 4.1. PENGARUH KOMBINASI JENIS BIOCHAR DAN PERIMBANGAN PUPUK N, P, K TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN JAGUNG

2 Pemupukan berimbang berarti menambah pupuk dengan jenis hara dan dosis yang sesuai dengan kesuburan tanah dan kebutuhan tanaman. Penelitian ini lebih dikhususkan pada jenis hara (N, P, K) yang ditambahkan pada tanah yang diberi biochar dari tiga jenis. Hasil penelitian menunjukkan ada interaksi antara jenis biochar dan perimbangan pupuk pada tinggi tanaman jagung umur 30 dan 60 hst (Tabel 3 dan 4). Penggunaan biochar tempurung kelapa muda menghasilkan tinggi tanaman yang terbaik pada berbagai perimbangan pupuk pada 30 hst (32 – 34 cm) dan 60 hst (126 – 132 cm) kecuali yang dipupuk P dan K (96 cm). Aplikasi biochar sekam padi dan tempurung kelapa menunjukkan tinggi tanaman yang sama pada berbagai perimbangan pupuk kecuali yang hanya dipupuk P dan K. Pada akhir pertumbuhan vegetatif, tanaman jagung yang dipupuk lengkap (+NPK) mempunyai ketinggian yang sama dibandingkan jika hanya menggunakan pupuk dasar (-NPK) maupun NP dan NK. Akan tetapi jika hanya menggunakan pupuk P dan K maka tanaman tidak mampu tumbuh dengan baik (kerdil), karena kekurangan nitrogen yang sangat diperlukan selama pertumbuhan pada fase awal sampai masak fisiologis. Fungsi nitrogen sebagai bahan penyusun asam-asam amino, protein, dan pembentuk klorofil. Klorofil sangat penting dalam proses fotosintesis dan bahan penyusun komponen isi sel jaringan tanaman.

Jenis biochar dan perimbangan pupuk secara tunggal berpengaruh terhadap diameter batang, indeks luas daun (ILD), dan biomassa tanaman. Masing-masing jenis biochar maupun perimbangan pupuk mempengaruhi diameter batang pada minggu ke-4 dan ke-8, ILD dan berat kering biomassa pada minggu ke-4 (Tabel 5 dan 6). Biochar tempurung kelapa menunjukkan diameter batang dan biomassa terbaik dibanding biochar lainnya, sedangkan biochar kayu menghasilkan diameter batang yang paling rendah. Biochar sekam padi menunjukkan ILD yang terbaik dan terendah pada biochar tempurung kelapa. Setiap jenis biochar berbeda dalam mempengaruhi pertumbuhan tanaman jagung. Pada pertumbuhan awal (30 hst), pembentukan biomassa tanaman terbaik dicapai pada diameter batang terbaik meskipun ILD terendah. Widowati *et al.* (2019) melaporkan bahwa berat kering total tanaman jagung dan indeks luas daun tidak berbeda nyata diantara perlakuan pada ketiga jenis tanah.



Tabel 3. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK terhadap Tinggi Tanaman pada 30 hst

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm) pada 30 hst				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	28.20 d	27.23 cd	28.23 d	27.20 cd	23.22 ab
Biochar tempurung kelapa muda	33.79 e	32.17 e	32.33 e	31.80 e	34.21 e
Biochar kayu	23.80 ab	22.50 ab	24.60 abc	22.10 a	25.03 bc
BNJ 5%	2.709				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Berdasarkan perimbangan pupuk (Tabel 7), pemberian pupuk lengkap NPK menghasilkan pertumbuhan (diameter batang, ILD, dan biomassa tanaman) tertinggi dan tidak berbeda nyata dengan pemberian pupuk dasar (-NPK) dan pupuk yang tidak lengkap (perlakuan NP dan NK). Namun jika hanya menggunakan pupuk P dan K menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat. Saat 30 hst, tambahan pupuk K sebanyak 133 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (2/3 dosis) akan menghambat pertumbuhan bila tidak diimbangi dengan pupuk N. Hal ini berhubungan dengan kontribusi biochar dalam menyediakan dan memasok hara K sehingga K semakin banyak di dalam tanah. Banyaknya hara kalium dan kurangnya hara nitrogen di dalam tanah menyebabkan gangguan metabolisme tanaman sebagai akibat defisiensi unsur N sehingga tanaman tidak mampu mengembangkan luas daunnya secara normal. Respon tanaman semakin rendah apabila aplikasi biochar dan pemupukan N yang tidak berimbang pada tanah yang sedang mengalami degradasi. Tanpa masukan pupuk N akan semakin membatasi ketersediaan N yang bertanggungjawab selama fase awal sampai jagung masak fisiologis. Perlakuan PK berbeda dengan -NPK meskipun kedua perlakuan tersebut sama-sama menerima pupuk NPK sebagai pupuk dasar (1/3 dosis) yang diberikan saat 7 hst. Pada 30 hst, perlakuan PK mendapat tambahan pupuk K (2/3 dosis) namun perlakuan - PK tidak ada tambahan pupuk NPK. Aplikasi biochar dan penambahan hara NPK pada fase awal (7 hst) telah mencukupi kebutuhan hara esensial bagi pertumbuhan dan hasil tanaman jagung secara normal (perlakuan - NPK). Biochar yang diaplikasikan ke dalam tanah akan meningkatkan kelembaban tanah dan pasokan nitrogen dari tanah ke tanaman. Namun tidak demikian halnya dengan perlakuan PK, yang diberi pupuk K pada 30 hst justru dapat menekan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung. Diduga karena tidak ada kesetimbangan kation (K<sup>+</sup>) dan anion (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dalam sel tanaman akibat terlalu tinggi kation K<sup>+</sup> dan rendah ion nitrat (tanpa tambahan pupuk N).

Tabel 4. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK terhadap Tinggi Tanaman pada 60 hst

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm) pada 60 hst				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	119.53 ef	119.20 ef	119.73 ef	118.67 ef	80.37 b
Biochar tempurung kelapa muda	130.57 g	125.70 fg	132.20 g	126.00 fg	95.7 c
Biochar kayu	109.97 d	86.33 b	112.27 de	110.60 d	71.67 a
BNJ 5%	7.471				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

77

Ada interaksi antara jenis biochar dan perimbangan pupuk pada indeks luas daun (ILD) dan biomassa pada minggu ke-8. ILD tertinggi dicapai oleh perlakuan biochar sekam padi+NPK yang tidak berbeda dengan biochar tempurung kelapa+NPK (1,64-1,69) dan terendah pada biochar sekam padi+PK (0,52). Pemberian pupuk dasar saja pada perlakuan -NPK dan pupuk yang tidak lengkap pada perlakuan NP dan NK menunjukkan ILD yang sama tetapi perlakuan PK terendah pada setiap jenis biochar. Biomassa tanaman tertinggi dicapai pada perlakuan biochar tempurung kelapa+NPK yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan biochar sekam padi+NPK (4 t ha<sup>-1</sup>). Biomassa tanaman terendah pada perlakuan biochar kayu+PK. Tiap jenis biochar yang hanya ditambah pupuk P dan K menunjukkan biomassa terendah. Aplikasi biochar sekam dan tempurung yang ditambah pupuk N dan P ataupun N dan K akan membentuk biomassa kering yang sama, yaitu 3,7 t ha<sup>-1</sup> (biochar sekam) dan 3,9 t ha<sup>-1</sup> (biochar tempurung). Tidak demikian halnya dengan biochar kayu yang menghasilkan biomassa tanaman tergantung dari perimbangan pupuknya (Tabel 5).

Peng *et al.* (2011) melaporkan bahwa biomassa jagung meningkat sebesar 64% (tanpa NPK) dan 146% (dengan NPK) setelah amandemen biochar pada tanah Ultisol. Aplikasi biochar dan atau pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah. Pengaruhnya tergantung pada kualitas biochar dan pupuk organik serta bisa lebih nyata pengaruhnya pada tanah yang telah sangat melapuk dan tidak subur. Liang *et al.* (2006); Oguntunde *et al.* (2008); Asai *et al.* (2009) melaporkan biochar dapat meningkatkan sifat kimia tanah (misal pH, KTK, kation) dan sifat fisik (seperti retensi air tanah dan konduktivitas hidrolik).

Hasil penelitian Widowati (2010) menunjukkan produksi biomassa tanaman jagung tidak berbeda diantara perlakuan yang dicoba baik dengan NPK (74 - 84 g/tanaman) maupun tanpa NPK (61 - 71 g/tanaman). Hasil ini konsisten dengan yang

dilaporkan oleh Tagoe *et al.*, (2008), aplikasi biochar pupuk kandang ayam (dengan pirolisis pada suhu 450 °C selama 1 jam) dan sampah organik kota (suhu 500 °C selama 2 jam) dengan atau tanpa pupuk anorganik KCl (83 kg K/ha) dapat meningkatkan pertumbuhan, nodulasi, kadar N dan P pada kacang-kacangan (kedelai dan kacang tunggak). Hal ini menunjukkan biochar sebagaimana pupuk organik yang dapat berfungsi sebagai penyedia hara karena biochar masih mengandung unsur hara.

Tabel 5. Pengaruh Biochar terhadap Diameter Batang, Indeks Luas Daun, Berat Kering Akar

Jenis Biochar	Diameter Batang (cm)		LAI	BK Akar (g tanaman <sup>-1</sup> )
	30 hst	60 hst	30 hst	30 hst
Biochar sekam padi	4.58 b	16.41 b	0.35 c	1.64 b
Biochar tempurung kelapa muda	5.32 c	18.54 c	0.25 b	1.78 b
Biochar kayu	4.08 a	10.63 a	0.19 a	0.93 a
2 BNJ 5%	0.372	1.163	0.041	0.216

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Pemupukan NPK yang tidak berimbang masih dimungkinkan selama menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah. Hal ini berhubungan dengan potensi biochar dalam mempengaruhi sifat-sifat tanah yang menguntungkan bagi rhizosfer sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman. Hal ini terbukti dari perlakuan NP (300 kg urea ha<sup>-1</sup> dan 100 kg SP<sub>36</sub> ha<sup>-1</sup>) maupun NK (300 kg urea ha<sup>-1</sup> dan 200 kg KCl ha<sup>-1</sup>) yang menunjukkan pertumbuhan tanaman yang sama dengan perlakuan NPK (khususnya perlakuan NPK). Hal ini juga membuktikan bahwa biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda mampu meretensi hara fosfat dan kalium yang diperoleh dari pemupukan dasar meskipun dalam tanah kandungan P tersedia sangat rendah (6,35 mg kg<sup>-1</sup>) dan K tersedia rendah (0,43 mg 100 g<sup>-1</sup>) serta musim penghujan selama pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian ini mendukung penggunaan biochar untuk meningkatkan ketersediaan P dan K bagi pertumbuhan tanaman. Atau dengan kata lain biochar mampu mengurangi dan atau menggantikan kebutuhan pupuk makro primer P dan K yang sangat penting bagi kelangsungan siklus hidup tanaman. Kalium sebagai media transportasi yang membawa unsur hara dari akar ke bagian atas tanaman dan mentranslokasi asimilat dari daun ke seluruh bagian tanaman. Aplikasi biochar telah mengoptimalkan pemakaian pupuk kalium

yang ditambahkan dari pupuk dasar dan atau pemasok kalium pada perlakuan NP. Karakteristik biochar selengkapnya telah dilaporkan Widowati *et al.* (2014). Meskipun tanpa fosfor (perlakuan NK) menunjukkan pertumbuhan yang tidak kalah dengan perlakuan -NPK ataupun NP. Kandungan P tersedia di dalam tanah meningkat pada dosis 15, 30, dan 45 t ha<sup>-1</sup>, masing-masing 167%, 226%, dan 238% (biochar sekam padi); 75%, 107%, 119% (biochar tempurung); dan 137%, 169%, 451% (biochar kayu). pH tanah mempengaruhi ketersediaan unsur hara fosfor. pH tanah menunjukkan 5,5 sebelum diberi biochar dan setelah 60 hari diberi biochar menjadi 5,94-6,42. Steiner *et al.*, (2008) melaporkan bahwa biochar dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan fosfor pada tanah masam.

Chan *et al.* (2007) dan Lehmann *et al.* (2003) melaporkan bahwa biochar biasanya memiliki kalium total dan tersedia yang tinggi yang telah terbukti menghasilkan peningkatan penyerapan K. Respon pertumbuhan tanaman meningkat dengan pengamatan serapan K, P, Ca, Zn, dan Cu yang lebih besar dengan meningkatnya aplikasi biochar. Penelitian yang dilakukan oleh Vaccari *et al.* (2011) menunjukkan ada efek positif pada pertumbuhan, hasil dan kualitas biji gandum yang diamati ketika aplikasi biochar 30 dan 60 t ha<sup>-1</sup> yang mungkin secara bersamaan meningkatkan penyerapan C dan berkontribusi untuk produksi energi terbarukan selain perbaikan tanah pertanian.

Pada umur 30 hst, jenis biochar mempengaruhi berat akar kering (Tabel 5). Biochar kayu menunjukkan berat akar terendah (0,93 g tanaman<sup>-1</sup>) dan biochar sekam dan tempurung menunjukkan berat akar yang sama (1,64 & 1,78 g tanaman<sup>-1</sup>). Biochar dari bahan baku yang berbeda menghasilkan sifat yang berbeda sebagai hasil dari ukuran partikelnya berbeda pada saat pirolisis, kadar abu yang melekat dari bahan baku (Demirbas, 2004), kondisi pirolisis (Singh *et al.*, 2010) dan kondisi penyimpanan setelah pengolahan (Spokas *et al.*, 2011).

Ada interaksi antara jenis biochar dengan perimbangan pupuk pada berat akar kering pada umur 60 hst. Biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda yang ditambah pupuk (+NPK, -NPK, NP, dan NK) menghasilkan berat akar kering yang sama yang berkisar 19-22 gram tanaman<sup>-1</sup> namun menurun menjadi 5-11 g tanaman<sup>-1</sup> (perlakuan PK). Biochar kayu menyebabkan perkembangan akar tanaman jagung tidak sebaik dengan biochar sekam maupun tempurung kelapa apalagi bila tanpa ditambah pupuk N (Tabel 3).

Oguntunde *et al.* (2004) melaporkan hasil biji dan biomassa jagung meningkat masing-masing sebesar 91% dan 44% dari tanah di lokasi pembuatan biochar kayu dibanding kontrol. Lebih lanjut Oguntunde *et al.*, 2004 melaporkan tentang pengaruh produksi arang pada tekstur dan sifat kimia tanah dan hasil jagung di lapangan dengan tambahan pupuk NPK (15-15-15) sebesar 150 kg/ha. Hasil



penelitian menunjukkan ada peningkatan yang signifikan pada pH tanah, kejenuhan basa, konduktivitas listrik, Ca tukar, Mg, K, Na dan P tersedia dalam tanah di lokasi pembakaran (14 bulan) dibandingkan dengan lokasi yang berdekatan (5 - 10 m). Peningkatan K tanah hingga 329% sedangkan C organik dan N total mengalami penurunan masing-masing sebesar 9,8% dan 12,8%. C organik dan N total sangat berkorelasi ( $P < 0,01$ ) dan kedua parameter nyata ( $P < 0,05$ ) tergantung pada mineral liat dalam tanah. Tekstur tanah juga diubah menjadi persentase pasir yang lebih tinggi dan persentase liat yang lebih rendah di lokasi produksi arang. Hasil biji dan biomassa jagung meningkat masing-masing sebesar 91% dan 44%. Aplikasi biochar sekam padi meningkatkan hasil jagung, kedelai dan kacang tanah di Indonesia. Glaser *et al.*, (2002) menyampaikan bahwa efek biochar dapat dikaitkan dengan peningkatan pH tanah dan kandungan unsur hara yang tersedia, peningkatan retensi hara oleh peningkatan kapasitas tukar kation (KTK), dan perbaikan dari sifat fisik tanah seperti retensi air tanah dan agregasi. Yamato *et al.* (2006) menunjukkan bahwa hasil jagung dan kacang tanah secara signifikan lebih tinggi setelah aplikasi arang kulit dan pupuk (Char-NPK) dibandingkan dengan hanya pupuk (NPK). Khususnya jagung, hasil meningkat dua kali lipat. Widowati (2010) menyampaikan efek residu biochar menghasilkan produksi biomassa tanaman jagung kedua yang sama dengan residu pupuk organik lama dan lebih rendah dari tambahan pupuk organik baru yang sebelumnya telah diberi pupuk organik (efek *priming*). Peningkatan efisiensi pemupukan disebabkan oleh penggunaan biochar telah dilaporkan oleh Steiner *et al.* (2008). Efisiensi pemupukan terjadi sebagai akibat adanya KTK yang tinggi pada biochar sehingga mampu menyerap hara pada pupuk, dan selanjutnya memperkecil kehilangan hara karena pencucian. Selain itu biochar mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation, sehingga mampu menahan hilangnya kation dari tanah akibat pencucian hara (Novak *et al.*, 2007).

Aplikasi biochar bagas tebu dengan kandungan abu 65%, karbon 35%, dan memiliki pH 9 sebanyak 50 g kg<sup>-1</sup> tanah ke tanah (perkebunan kopi, pH) meningkatkan pertumbuhan biomassa (40 hari) hingga lima kali lipat dan pada tanah yang kurang subur (bekas pekerjaan konstruksi) meningkat delapan kali lipat. Chan *et al.*, (2008) mencatat kenaikan hasil lobak (*Raphanus sativus*) secara linier dengan penambahan biochar hingga 50 ton/ha dan tambahan pupuk N.

Tabel 6. Pengaruh Perimbangan Pupuk terhadap Diameter Batang, Indeks Luas Daun, dan Berat kering biomassa

Perimbangan pupuk	Diameter batang jagung (cm)		LAI	BK biomassa (t ha <sup>-1</sup> )
	30 hst	60 hst	30 hst	30 hst
+NPK	6.01 c	19.57 c	0.35 b	0.28 c
-NPK	5.88 bc	17.90 bc	0.33 b	0.27 bc
NP	5.83 bc	18.78 bc	0.32 b	0.25 bc
NK	5.48 bc	18.60 bc	0.32 b	0.25 b
PK	4.76 a	16.32 a	0.26 a	0.21 a
11 BNJ 5%	0.429	1.340	0.047	0.030

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

18  
Tabel 7. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK terhadap Indeks Luas Daun dan Berat kering Biomassa pada 60 hst

Perlakuan	Indeks Luas Daun pada 60 mst					BK Biomassa (t ha <sup>-1</sup> ) pada 60 mst				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	1.69 g	1.44 e	1.42 e	1.42 e	0.52 a	3.99 jk	3.78 hij	3.74 hi	3.71 h	1.70 b
Biochar tempurung kelapa muda	1.64 fg	1.52 ef	1.47 e	1.36 de	0.89 bc	4.18 k	3.84 hij	3.95 ij	3.94 ij	1.96 c
Biochar kayu	1.22 d	0.96 c	0.97 c	0.96 c	0.76 b	3.16 g	2.85 f	2.43 e	2.20 d	1.21 a
11 BNJ 5%	0.165					0.223				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

**Tabel 8.** Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK terhadap Berat Akar Kering

Perlakuan	BK Akar (g tanaman <sup>-1</sup> ) pada 60 hst				
	+NPK	-NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	22.37 c	21.67 c	21.33 c	21.83 c	5.27 a
Biochar tempurung kelapa muda	20.33 c	19.00 c	19.4 c	19.23 c	11.23 b
Biochar kayu	13.40 b	12.53 b	12.9 b	12.00 b	5.83 a
BNJ 5%	3.411				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

#### 4.2. PENGARUH KOMBINASI JENIS BIOCHAR DAN PERIMBANGAN PUPUK N, P, K TERHADAP KOMPONEN HASIL DAN HASIL TANAMAN JAGUNG

Aplikasi biochar tanpa pupuk N (perlakuan PK) akan menghasilkan komponen hasil dan hasil jagung pipilan kering terendah dibanding perlakuan lainnya. Proses produksi biochar dengan pemanasan suhu tinggi telah menyebabkan nitrogen banyak yang hilang sehingga jumlahnya berkurang. Widowati *et al.* (2011) melaporkan bahwa pupuk kandang kotoran ayam dan kompos mengandung N total, masing-masing sebesar 2,02% dan 1,81%, namun proses pirolisis dengan suhu 500°C menjadi 1,9% (biochar pupuk kandang kotoran ayam) dan 1,67% (biochar sampah organik). Perubahan dari kelompok alifatik ke aromatik menyebabkan penurunan ketersediaan nutrisi terkait dalam struktur organik seperti N, P, dan S (Chan dan Xu, 2009). Bahan tanaman mengandung berbagai N dalam struktur asam amino, amina, dan gula amino. Ketika pirolisis, struktur ini bisa terkondensasi dan membentuk heterosiklik dengan N struktur aromatik (Cao dan Harris, 2010). Hal ini mengubah N ke bentuk yang mungkin tidak tersedia untuk mikroba dan akhirnya digunakan tanaman (Gaskin *et al.*, 2010). Akibatnya N sisa dalam biochar yang sebagian besar ditemukan sebagai N heterosiklik yang tahan bukan bio-tersedia N amina (Cao dan Harris, 2010). Ada interaksi yang menguntungkan saat biochar diterapkan bersama-sama dengan pupuk N (Chan *et al.*, 2007 dan Steiner *et al.*, 2008) sehingga menimbulkan efisiensi penggunaan pupuk.

Penelitian ini menunjukkan banyaknya N total dalam tanah sebelum diberi biochar sebesar 0,08% (sangat rendah). Pupuk urea yang ditambahkan sebagai pupuk dasar saja ternyata tidak mampu memenuhi N yang banyak dibutuhkan oleh

tanaman jagung. Kondisi ini menyebabkan defisiensi unsur hara N sehingga tanaman tidak tumbuh dengan baik akibatnya hasil biji paling rendah. Ada interaksi diantara perlakuan pada panjang tongkol dan hasil jagung pipilan kering. Penambahan semua jenis biochar dengan pupuk P dan K menghasilkan panjang tongkol (10-11 cm) dan hasil jagung pipilan kering (3-4 t ha<sup>-1</sup>) terendah sementara perlakuan kontrol sebesar 8 cm (panjang tongkol) dan 2 t ha<sup>-1</sup> (hasil jagung pipilan kering). Hasil jagung pipilan kering tertinggi pada biochar sekam padi+NPK yang tidak berbeda dengan tanpa tambahan pupuk N dan K (perlakuan -NPK) maupun pada biochar tempurung kelapa. Pemberian pupuk lengkap NPK menghasilkan panjang tongkol (Tabel 4) dan hasil biji pipilan kering (Tabel 10) yang lebih baik dan tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan pemberian sebagai pupuk dasar (biochar sekam padi dan tempurung kelapa) maupun biochar tempurung +NP. Penambahan biochar tempurung kelapa muda telah mampu memenuhi kebutuhan tanaman akan kalium untuk perpanjangan tongkol maupun hasil biji pipilan kering, meskipun kalium hanya diberikan sebagai pupuk dasar. Penelitian lanjutan yang bertujuan untuk mengevaluasi jenis dan waktu pemupukan NK pasca aplikasi biochar pada serapan hara dan hasil tanaman jagung pada Masa Tanam (MT) II menyimpulkan bahwa residu biochar yang ditambah pupuk N maupun NK pada minggu ke-3 sampai ke-5 memberikan hasil yang sama, berkisar 6,92 – 8,18 t ha<sup>-1</sup> (Widowati *et al.*, 2017). Mayor *et al.* (2010) menunjukkan tidak ada perubahan dari produksi jagung pada tahun pertama dan peningkatan yang signifikan dalam 3 tahun berikutnya yang asalnya dosis tunggal biochar kayu pada 20 t ha<sup>-1</sup> di sabana Kolombia Oxisol (mirip sifat kimia untuk Ultisol). Dalam penelitian ini, produksi jagung mengalami peningkatan sebesar 11,6% -18,2% dengan pemupukan N dan 7 - 16% tanpa pemupukan N di bawah amandemen biochar masing-masing pada tingkat 20-40 t ha<sup>-1</sup>. Peningkatan produksi jagung di tanah dengan perlakuan biochar dapat dikaitkan dengan ketersediaan hara (Chan *et al.*, 2007; 2008) dan untuk memperbaiki sifat fisik tanah ditunjukkan oleh penurunan berat volume tanah. Namun meningkatnya hasil seperti ini tidak sebanding dengan tingkat amandemen biochar untuk ketersediaan N bisa menurun di bawah aplikasi biochar tinggi (Lehmann *et al.*, 2003) sebagai C/N rasio 15 dibandingkan 13.

Kandungan hara biochar tergantung pada jenis bahan baku biomassa dan kondisi pirolisis (DeLuca *et al.*, 2009). Mengubah parameter pirolisis dapat menghasilkan biochar dengan kandungan hara yang berbeda dari bahan baku yang sama (Chan *et al.*, 2007b). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa berat kering jagung tanpa klobot dipengaruhi oleh jenis biochar yang digunakan. BK jagung tanpa klobot terendah pada biochar kayu (Tabel 8). Akan tetapi jenis biochar dan perimbangan pupuk tidak mempengaruhi berat kering 100 butir jagung (Tabel 8 dan 9).



Pemakaian jenis biochar tidak nyata mempengaruhi diameter tongkol maupun berat tongkol kering saat panen tetapi perimbangan pupuk NPK berpengaruh nyata. Diameter tongkol menunjukkan hasil yang sama pada perimbangan pupuk (+NPK, -NPK, dan NP) dan akan menurun apabila hanya dipupuk NK. Diameter dan berat tongkol terendah pada pemberian pupuk P dan K (Tabel 6). Berat tongkol kering tertinggi pada perimbangan pupuk NPK yang tidak berbeda dengan perlakuan (-NPK, NP, dan NK).

Telah dilaporkan bahwa penambahan biochar memiliki pengaruh positif pada sifat-sifat tanah dan dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas (Glasser *et al.*, 2002). Peningkatan pH tanah, penambahan kation basa, dan peningkatan KTK telah menunjukkan bahwa penambahan biochar tidak hanya sebagai amandemen tanah, tetapi juga bertindak sebagai pupuk.

Tabel 9. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK terhadap Panjang Tongkol

Perlakuan	Panjang tongkol (cm)				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	16.39 g	15.56 fg	15.06 def	14.22 cde	9.94 a
Biochar tempurung kelapa muda	16.06 g	15.44 efg	15.83 fg	14.17 cd	10.17 a
Biochar kayu	15.56 fg	13.11 bc	13.28 bc	12.11 b	10.78 a
BNJ 5%	1.236				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Tabel 10. Pengaruh Biochar terhadap Berat Kering Jagung Tanpa Klobot dan 100 Butir Jagung

Jenis Biochar	BK jagung tanpa klobot (t ha <sup>-1</sup> )	BK 100 butir (g)
Sekam padi	4.40 b	25.35 a
Tempurung kelapa muda	4.35 b	25.58 a <sub>43</sub>
Kayu	3.88 a	26.37 a
BNJ 5%	0.458	tn

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Widowati *et al.* (2014) menyebutkan biochar dapat menggantikan dan mengurangi pupuk KCl. Selanjutnya penambahan bochar dilaporkan meningkatkan hasil panen (Lehmann *et al.*, 2007; Glasser *et al.*, 2000; Glasser *et al.*, 2002). Menurut Widowati *et al.* (2013), hasil jagung dengan biochar saja ( $6.24 \text{ t ha}^{-1}$ ) meningkat 14% dibanding pupuk KCl saja ( $5.45 \text{ t ha}^{-1}$ ). Aplikasi biochar dan pengurangan 75% dosis pupuk KCl dapat meningkatkan produksi jagung sebesar 29%. Hasil penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan hasil jagung (31-54%) pada musim tanam jagung pertama. Menurut Widowati *et al.* (2014), biochar sekam ( $45 \text{ t ha}^{-1}$ ), biochar tempurung kelapa ( $30 \text{ t ha}^{-1}$ ), dan biochar kayu  $15 \text{ t ha}^{-1}$  terbaik dalam menghasilkan brangkasan kering. Aplikasi biochar dapat meningkatkan hasil jagung (31-54%). Hasil jagung tertinggi pada biochar sekam dosis  $30 \text{ t ha}^{-1}$ .

Pada kondisi pencucian, ada interaksi antara bahan dan dosis biochar pada ketersediaan N, P, K, pH, KTK, KB, dan jumlah basa. Biochar sekam dan tempurung  $45 \text{ t ha}^{-1}$  menghasilkan KB tertinggi. Dosis  $45 \text{ t ha}^{-1}$  menghasilkan kandungan C organik tertinggi. Biochar kayu  $45 \text{ t ha}^{-1}$  menghasilkan kadar P tanah dan KTK tertinggi. Biochar kayu dan tempurung  $45 \text{ t ha}^{-1}$  menunjukkan jumlah basa tertinggi (Widowati *et al.* 2014a). Hasil penelitian di lapangan pada musim tanam pertama menunjukkan hasil jagung tertinggi ( $11,88 \text{ t ha}^{-1}$ ) pada biochar sekam dosis  $30 \text{ t ha}^{-1}$  (Widowati *et al.* 2014a). Hasil penelitian ini sejalan dengan sebelumnya, hasil jagung tertinggi ( $8.57 \text{ t ha}^{-1}$ ) pada biochar sekam padi ( $30 \text{ t ha}^{-1}$ ) yang ditambah pupuk NPK seperti dosis dan cara pemakaian pupuk di lapangan (Tabel 12).

Tabel 11. Pengaruh Perimbangan Pupuk terhadap Diameter Tongkol dan Berat Kering Tongkol

Perimbangan pupuk	Diameter tongkol (cm)	BK tongkol ( $\text{t ha}^{-1}$ )	BK 100 butir (g)
+NPK	4.49 c	2.17 c	31.76 a
-NPK	4.46 c	1.98 bc	31.76 a
NP	4.44 c	1.99 bc	31.11 a
NK	4.21 b	1.68 bc	30.59 a
PK	4.06 a	0.90 a	29.39 a
11 BNJ 5%	0.11	0.33	tn

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Untuk menghasilkan jagung dengan hasil yang tidak berkurang dapat dilakukan dengan aplikasi biochar dan mengurangi pupuk anorganik NPK. Pada umumnya pupuk N digunakan untuk memaksimalkan hasil tanaman. Hasil penelitian residu biochar pada musim tanam jagung kedua di Entisol menunjukkan hasil jagung meningkat 146,4% dibanding kontrol (Widowati *et al.*, 2020).

Pada penelitian ini justru pupuk N dapat dikurangi dengan tingkat hasil yang relatif tidak berkurang dengan cara menggunakan bahan amademen biochar. Hal ini akan berdampak pada nilai ekonomis karena mengurangi jumlah uang yang dibelanjakan untuk pupuk mineral (Steiner *et al.*, 2008). Implikasi praktis dari penelitian ini adalah berkurangnya pemakaian pupuk mineral terutama N akan menekan emisi gas N<sub>2</sub>O sebagai salah satu agen perubahan iklim global. Transformasi bentuk nitrogen melalui denitrifikasi, amonifikasi, dan nitrifikasi sebagai penyebab emisi gas N<sub>2</sub>O. Biochar kayu memiliki kadar fosfat total yang rendah (0,13 g kg<sup>-1</sup>) dan fosfat tersedia kurang dari 7,8 mg-1 g (Singh *et al*, 2010 a).

18

Tabel 12. Pengaruh Kombinasi Jenis Biochar dan perimbangan Pupuk NPK terhadap Hasil Jagung Pipilan Kering

Perlakuan	Hasil Jagung Pipilan Kering (t ha <sup>-1</sup> )				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	8.50 f	8.41 ef	7.12 d	5.78 bc	3.22 a
Biochar tempurung kelapa muda	8.44 ef	7.76 def	7.27 de	5.32 b	3.80 a
Biochar kayu	7.26 de	5.75 bc	6.95 bc	5.86 bc	3.65 a
BNJ 5%	1.221				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.



#### 4.3. PENGARUH KOMBINASI JENIS BIOCHAR DAN PERIMBANGAN PUPUK N, P, K TERHADAP SERAPAN HARA N, P, K PADA TANAMAN JAGUNG

Penyerapan adalah salah satu proses yang paling penting yang mempengaruhi ketersediaan, pencucian dan perilaku bahan kimia organik atau anorganik (Downie *et al.* 2007). Ada banyak faktor yang mempengaruhi penyerapan, seperti luas permukaan penyerapan material, salinitas (Hou *et al.*, 2003), dan jenis gugus fungsional (Hina *et al.*, 2010b). Biochar bambu adalah pilihan yang menarik untuk amonium karena kapasitas adsorpsi amonium tinggi, yang 0,852 mg g<sup>-1</sup> pada 25°C selama bambu yang diproduksi pada 600°C (Ding *et al.*, 2010). Downie *et al.* (2007) menemukan bahwa biochar menghilangkan fosfor hingga 52% dari limbah susu ketika biochar kotoran ayam ditambahkan pada rasio 100:1 limbah / biochar.

Hasil penelitian ini menunjukkan terjadi interaksi antara jenis biochar dan perimbangan pupuk NPK pada serapan hara NPK pada tanaman jagung (Tabel 13-15). Serapan NPK tertinggi diperoleh dari biochar sekam padi yang ditambah pupuk NPK sesuai dosis anjuran pada tanaman jagung. Apabila pupuk urea dan KCl yang diberikan hanya 1/3 dosis anjuran (-NPK) maka serapan NPK dari perlakuan biochar sekam padi berkurang masing-masing menjadi 29%; 32%; dan 13%. Aplikasi biochar tempurung dan pemberian pupuk dasar NPK menyebabkan serapan NPK menurun masing-masing sebesar 25%, 15%, 21%. Aplikasi biochar kayu dan pupuk dasar NPK menurun masing-masing sebesar 13%, 16%, dan 12%. Penggunaan biochar sekam maupun tempurung kelapa dengan hanya menambah pupuk dasar NPK tidak menurunkan hasil jagung pipilan kering (Tabel 12) meskipun terjadi pengurangan serapan NPK. Namun jika menggunakan biochar kayu terjadi penurunan hasil biji sebesar 21%. Penggunaan pupuk NPK sesuai dosis anjuran yang dikombinasi dengan biochar masih memungkinkan untuk dikurangi dosisnya karena tidak mengganggu pertumbuhan dan hasil tanaman. Hal ini karena biochar mampu meretensi unsur hara sehingga hara yang tersedia dapat mencukupi kebutuhan tanaman untuk menghasilkan produksi tanaman. Hasil penelitian perimbangan pupuk dengan biochar membuktikan bahwa tanpa pupuk susulan NPK, tanaman jagung mampu memproduksi sama dengan tanaman yang diberi pupuk susulan NPK. Biochar dapat menghemat sebanyak pupuk susulan yang ditambahkan pada tanaman jagung. Dari hasil serapan NPK tanaman jagung ditunjukkan bahwa adanya pupuk susulan sebanyak 2/3 dosis anjuran yang diberikan pada 30 hst mampu meningkatkan serapan NPK pada tanaman umur 60 hari. Serapan hara NPK telah menambah indeks luas daun dan biomassa tanaman pada umur 60 hari. Kenaikan serapan NPK diikuti dengan bertambahnya indeks luas daun dan biomassa tanaman tanpa diiringi dengan kenaikan produksi tanaman. Hasil biji tidak berbeda antara yang tidak diberi dan diberi



pupuk susulan NPK. Diduga kapasitas hasil tanaman jagung yang tidak meningkat disebabkan oleh media tanam dalam polibag yang membatasi hasil tanaman apalagi dengan menggunakan tanah yang sedang mengalami degradasi. Produksi tanaman tidak hanya ditentukan oleh serapan ar dan unsur hara tetapi juga faktor lain yang tidak diamati pada penelitian ini. Disamping itu juga menjelaskan bahwa biochar masih efektif menyediakan hara selama pertumbuhan dan hasil tanaman jagung meskipun pupuk yang diberikan hanya sebagai pupuk dasar pada 7 hst. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa aplikasi biochar pada tanah yang sedang mengalami degradasi masih memerlukan tambahan pupuk lengkap NPK walaupun dosis yang diperlukan hanya 1/3 dosis anjuran yang diberikan pada 7 hst.

Serapan NPK terendah bila pupuk urea yang digunakan hanya 45 kg N ha<sup>-1</sup> (sebagai pupuk dasar). Penggunaan biochar kayu menunjukkan serapan NPK terendah (Tabel 13-15). Serapan NPK terendah dari perlakuan PK disebabkan oleh berat kering akar pada perlakuan tersebut paling rendah (Tabel 8). Kebutuhan nitrogen yang tidak mencukupi kebutuhan tanaman menyebabkan tanaman tidak mampu tumbuh dengan baik (Tabel 3-8) sehingga menurunkan produksi tanaman (Tabel 12).

Pemupukan yang tidak lengkap (tanpa pupuk P atau K) menyebabkan serapan P ataupun K berkurang tetapi serapan N relatif sama. Penurunan serapan P dan K dari perlakuan biochar sekam < biochar tempurung < biochar kayu. Serapan N dari tanaman jagung yang dipupuk N dengan dosis anjuran NPK > NK dan NP > -NPK > PK (biochar sekam dan tempurung).

Tabel 13. Serapan N dari Pemberian Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK

Perlakuan	Serapan N (kg ha <sup>-1</sup> )				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	175.95 h	125.26 ef	138.74 fg	142.71 g	37.93 a
Biochar tempurung kelapa muda	155.20 g	116.94 de	142.71 g	139.19 fg	41.48 a
Biochar kayu	120.02 de	104.01 cd	88.74 bc	80.79 b	24.16 a
BNJ 5%	17.389				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

38

Tabel 14. Serapan P dari Pemberian Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK

Perlakuan	Serapan P (kg ha <sup>-1</sup> )				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	28.72 i	19.50 g	21.65 h	22.02 h	7.53 b
Biochar tempurung kelapa muda	22.99 h	19.5 g	18.14 fg	17.17 ef	8.19 b
Biochar kayu	15.64 e	13.21 d	15.32 e	10.49 c	4.90 a
BNJ 5%	2.078				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

38

Tabel 15. Serapan K dari Pemberian Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk NPK

Perlakuan	Serapan K (kg ha <sup>-1</sup> )				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	73.59 j	64.08 hi	56.17 g	69.06 ij	24.48 b
Biochar tempurung kelapa muda	62.45 h	49.63 ef	53.64 fg	67.12 hi	26.59 b
Biochar kayu	47.94 e	42.00 d	33.72 c	36.20 c	17.79 a
BNJ 5%	5.071				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

#### 4.4. PENGARUH KOMBINASI JENIS BIOCHAR DAN PERIMBANGAN PUPUK N, P, K TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR HARA DALAM TANAH

Secara umum, aplikasi biochar telah menunjukkan beberapa unsur hara di dalam tanah meningkat dibandingkan kontrol (tanpa biochar) (Tabel 16). Setelah masa inkubasi biochar ke dalam tanah selama 7 hari, aplikasi biochar sekam, tempurung, dan kayu dapat meningkatkan kandungan N dan K total,  $\text{NH}_4^+$ , dan  $\text{K}^+$ . Biochar tempurung dapat meningkatkan  $\text{NO}_3^-$ , P total dan tersedia. Biochar sekam dan tempurung dapat meningkatkan P tersedia. Peningkatan hara di dalam tanah berkaitan dengan kandungan hara dalam biochar (Widowati *et al.*, 2014). Dari ketiga jenis biochar yang digunakan pada penelitian ini, biochar tempurung merupakan salah satu biochar yang meningkatkan unsur hara total dan tersedia di dalam tanah (NPK).

Tabel 16. Ketersediaan Unsur hara di dalam tanah setelah inkubasi

Perlakuan	N total (%)	$\text{NH}_4$ (mg/kg)	$\text{NO}_3^-$ (mg/kg)	P total (mg/kg)	P tersedia (mg/kg)	K total (mg/kg)	K tersedia (mg/kg)
Kontrol	0.08 a	1.52 a	0.88 a	375.89 a	3.42 a	343.50 a	1.06 a
Biochar Sekam	0.11 b	8.25 c	1.09 a	397.29 a	11.23 b	633.19 c	2.07 b
Biochar Tempurung	0.12 b	3.78 b	4.55 b	1603.40 b	22.46 c	665.14 c	2.79 c
Biochar Kayu	0.10 b	4.46 b	2.38 a	353.44 a	3.22 a	530.37 b	1.56 ab
BNJ 5%	0.01	1.21	1.86	126.59	1.47	88.58	0.59

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Penambahan biochar memiliki efek langsung berkaitan dengan peningkatan unsur hara, sementara efek tidak langsung dikaitkan dengan perbaikan sifat kimia dan fisik tanah. Namun, penambahan biochar ke tanah yang memiliki jumlah nutrisi yang cukup mungkin tidak secara signifikan meningkatkan produksi tanaman. Dampak positif tidak langsung biochar pada produksi tanaman, lebih dari manfaat yang langsung (Chan dan Xu, 2009).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada interaksi antara perimbangan pupuk NPK dan jenis biochar pada kandungan P dan K total serta K tersedia dalam tanah (Tabel 17). Jenis biochar berpengaruh nyata pada N total dan  $\text{NO}_3^-$  (Tabel 17).

Kandungan nitrat tertinggi ditunjukkan pada biochar sekam dan terendah pada biochar kayu (Tabel 18). Aplikasi biochar kayu menunjukkan N total tertinggi yang tidak berbeda dengan biochar tempurung.

Tabel 17. Level Signifikan Pengaruh Jenis Biochar dan Perimbangan Pupuk Terhadap Unsur Hara di Dalam Tanah

Variabel Pengamatan	Level signifikan 60 hst		
	Perimbangan pupuk NPK	Jenis biochar	Interaksi perimbangan pupuk vs jenis biochar
N total	tn	*	tn
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	tn	tn	tn
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	tn	**	tn
P total	tn	**	**
P tersedia	tn	tn	tn
K total	**	**	**
K tersedia	**	**	**

Tabel 18. Pengaruh Jenis Biochar terhadap N total dan Nitrat pada 60 hst Jagung

Jenis biochar	N total (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)
Sekam padi	0.062 a	7.83 c
Tempurung kelapa	0.078 ab	5.34 b
Kayu	0.081 b	2.18 a
BNJ	0.019	2.311

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

68

Tidak ada interaksi antara jenis biochar dan perimbangan pupuk NPK pada kadar amonium di dalam tanah, demikian pula terhadap masing-masing faktor pada umur 60 hst. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan biochar dengan dan tanpa urea tidak berpengaruh pada amonium di dalam tanah. Amonium merupakan bentuk ion nitrogen yang tidak mudah hilang melalui pencucian. Pencucian merupakan aspek penting yang mempengaruhi efisiensi penggunaan pupuk dan kesehatan lingkungan tanah. Hal ini terjadi ketika nutrisi berpindah di luar zona perakaran tanaman sehingga tanaman tidak dapat mengambilnya. Menurut Lehmann *et al.* (2004), pencucian berkontribusi terhadap kehilangan N hingga 80% dari diterapkan biochar. Jumlah



nitrogen dan fosfat hilang melalui pencucian menurun masing-masing 11% dan 69% di kolom tanah yang diberi biochar dan pupuk kandang (Laird *et al.*, 2010). Biochar mengurangi pencucian amonium hingga 60% lebih dari 40 hari setelah tanam, dibandingkan dengan perlakuan yang tidak diberi biochar (Lehmann *et al.*, 2003). Biochar meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen (Karhu *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2012; Widowati *et al.*, 2012) dan memfasilitasi pengapuran, yang semuanya dapat mengurangi aktivitas denitrifikasi dan / atau mengurangi pembasahan tanah sebesar 73% dari ruang pori berisi air (Yanai *et al.*, 2007). Lehmann *et al.* (2003) dan Rondon *et al.* (2007) melaporkan bahwa tidak ada bukti untuk pengaruh biochar pada nitrifikasi di padang rumput atau tanah pertanian. Di sisi lain, memperlakukan tanah dengan karbon aktif (Ward *et al.*, 1997) atau biochar (Zackrisson *et al.*, 1996) meningkatkan tingkat nitrifikasi karena adsorpsi senyawa organik yang menghambat mikroorganisme nitrifikasi.<sup>76</sup>

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada interaksi antara jenis biochar dan perimbangan pupuk pada kadar P total tetapi tidak berpengaruh pada P tersedia di dalam tanah. Aplikasi biochar sekam padi maupun tempurung kelapa muda dan pupuk SP<sub>36</sub> menyebabkan kandungan P total berkisar 427-470 mg kg<sup>-1</sup> tetapi 355-394 mg kg<sup>-1</sup> (biochar kayu) (Tabel 22). P total terendah pada biochar kayu yang hanya menggunakan pupuk dasar pada tanaman jagung. Meskipun tanpa masukan pupuk SP<sub>36</sub> (perlakuan NK) ternyata masih mengandung P total apabila menggunakan biochar. Hal ini membuktikan bahwa biochar masih mengandung P total sebagai cadangan hara. Penerapan biochar meningkatkan ketersediaan fosfat di tanah masam (Lehmann *et al.*, 2003). Fosfat tersedia meningkat dari 8,1 mg P kg<sup>-1</sup> menjadi 258,3 mg P kg<sup>-1</sup> di tanah Ferralsol. Hal ini disebabkan perubahan pH untuk menetralkan pH tanah 5,14-5,9 dan atau peningkatan penyerapan kation, seperti Calcium dan Al<sup>3+</sup> tersedia yang berinteraksi dengan fosfor karena kapasitas pertukaran ion tinggi (Lehmann *et al.*, 2003). Selain itu disebabkan ketersediaan organik dan serapan fosfat meningkat di tanah hutan yang diberi biochar (Steiner *et al.*, 2007).

Tabel 19. Interaksi Perimbangan Pupuk dan Jenis Biochar pada Kandungan P Total Dalam Tanah umur 60 hst Jagung

Perlakuan	P total (mg/kg)				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	456.79 de	469.92 e	467.12 e	426.59 cd	461.04 de
Biochar tempurung kelapa	446.78 de	455.72 de	406.25 c	389.06 abc	458.57 de
Biochar kayu	394.46 bc	354.66 a	396.86 bc	393.15 bc	362.27 ab
BNJ 5%	37.877				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Ada interaksi antara jenis biochar dan perimbangan pupuk. Kalium tersedia di dalam tanah ( $K^+$ ) tertinggi dari biochar tempurung kelapa muda. Aplikasi pupuk KCl yang dilakukan sebanyak dua kali tidak menunjukkan kadar  $K^+$  yang berbeda (+NPK) bila diberikan hanya sekali meskipun dengan dosis yang lebih rendah (-NPK). Penggunaan dosis  $110 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$  menghasilkan kadar K tersedia (Tabel 20) dan K total (Tabel 21) yang tidak berbeda dengan  $37 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ . Berarti secara tidak langsung ada kontribusi kalium yang dihasilkan dari aplikasi biochar. Hal ini bersesuaian dengan kadar kalium yang meningkat setelah inkubasi biochar di dalam tanah setelah 7 hari aplikasi (Tabel 16). Menurut Glaser *et al.* (2002), penambahan biochar ke tanah menambahkan kation basa tukar seperti K, Ca, Mg yang menempati kompleks adsorpsi tanah sehingga mengakibatkan peningkatan pH tanah, dan mudah memasok nutrisi tanaman untuk pertumbuhan.

Bukti lebih lanjut ditunjukkan pada perlakuan NP dari jenis biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda. Tanpa masukan pupuk KCl yang kedua atau hanya dengan menggunakan pupuk KCl sebagai pupuk dasar telah menghasilkan kadar  $K^+$  yang sama dengan perlakuan yang menambah pupuk KCl (perlakuan +NPK dan -NPK). Akan tetapi aplikasi biochar kayu menghasilkan kadar  $K^+$  dan K total yang terendah jika tidak ditambahkan pupuk KCl baik sebagai pupuk dasar maupun pupuk susulan. Setelah pertumbuhan vegetatif secara maksimal tercapai (60 hst) tanaman tumbuh dengan baik (Tabel 3-8) dan menghasilkan produksi dengan baik (Tabel 9-12). Kombinasi biochar kayu dan pupuk KCl yang ditambahkan sebagai pupuk dasar ( $37 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) telah memenuhi kebutuhan tanaman akan kalium selama

pertumbuhan yang aktif yang selanjutnya berguna untuk kelangsungan produksi tanaman.

Tabel 20. Interaksi Perimbangan Pupuk dan Jenis Biochar pada Kandungan K Tersedia Dalam Tanah umur 60 hst Jagung

Perlakuan	K+ (me/100 g)				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	1.89 cde	1.83 bcd	1.77 bc	1.90 cde	2.08 f
Biochar tempurung kelapa muda	2.93 h	2.89 h	3.01 h	2.35 g	1.95 def
Biochar kayu	1.72 b	1.79 bc	1.52 a	1.87 bcde	2.02 ef
BNJ 5%	0.155				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

Kishimoto dan Sugiura (1985) melaporkan bahwa aplikasi biochar ke tanah pada tingkat  $5 \text{ t ha}^{-1}$  dan  $15 \text{ t ha}^{-1}$  menyebabkan hasil kedelai berkurang masing-masing sebesar 37% dan 71%. Hal ini dikaitkan dengan pengurangan ketersediaan mikronutrien karena meningkatnya pH. Efek positif tidak langsung, seperti peningkatan efisiensi penggunaan pupuk dengan perlakuan biochar karena mengurangi kerugian nutrisi melalui pencucian (Lehmann, 2007; VanZwieten *et al.*, 2010a), meningkatkan sifat fisik tanah, seperti peningkatan kapasitas memegang air (Iswaran *et al.*, 1980) dan juga mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007).

Tabel 21. Interaksi Perimbangan Pupuk dan Jenis Biochar pada Kandungan K Total Dalam Tanah umur 60 hst Jagung

Perlakuan	K total (mg/kg)				
	+ NPK	- NPK	NP	NK	PK
Biochar sekam padi	650.92 ab	636.08 ab	735.18 bc	851.41 cd	769.62 cd
Biochar tempurung kelapa muda	1154.30 f	1133.76 f	857.35 d	983.13 e	1450.99 g
Biochar kayu	642.61 ab	648.38 ab	584.08 a	747.02 bcd	746.40 bcd
BNJ 5%	117.295				

Keterangan : Angka-angka yang didampingi dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan Uji BNJ pada taraf 5%.

## BAB V. PEMBERIAN BIOCHAR UNTUK MENINGKATKAN KESUBURAN TANAH

### 5.1. PENGARUH BIOCHAR PADA SIFAT FISIK TANAH

Potensi penggunaan biochar sebagai bahan amandemen untuk menjaga kesinambungan kesuburan dan produktivitas tanah di daerah tropis telah dilaporkan oleh Topoliantz *et al.* (2005). Sebagai bahan amandemen tanah, biochar telah terbukti dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Chan *et al.*, 2007). Telah banyak laporan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan pH tanah, dan meningkatkan KTK tanah (Liang *et al.*, 2006; Yamato *et al.*, 2006). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Novak *et al.* (2007) menunjukkan potensi penggunaan biochar untuk memperbaiki kondisi lahan terdegradasi, terutama pada tanah pasir dan bersifat asam. Ruang pori yang tinggi pada biochar meningkatkan kapasitas tanah menahan air. Selain itu biochar mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation, sehingga mampu menahan hilangnya kation dari tanah akibat pencucian hara (Novak *et al.*, 2007). Widowati *et al.* 2012 menunjukkan bahwa biochar dengan dosis KCl bertambah tidak meningkatkan pencucian pada 30-60 hari.

Bobot isi tanah dari kombinasi biochar dan pupuk organik meningkat sangat nyata dibanding biochar saja. Peningkatan bobot isi tanah dari residu kombinasi biochar dan pupuk organik sebesar 12,69% dibanding biochar saja. Bobot isi tanah dari residu pupuk kandang baru meningkat sangat nyata dibanding pupuk kandang lama. Peningkatan bobot isi tanah dengan pemberian pupuk kandang baru yang sebelumnya sudah diberi pupuk kandang sebesar 18,90% dari 1,27 g/cm<sup>3</sup> menjadi 1,51 g/cm<sup>3</sup>. Bobot isi tanah dari residu biochar tidak berbeda dari residu pupuk organik lama maupun baru (Widowati, 2010). Penambahan biochar ke tanah memiliki potensi untuk mengurangi kepadatan tanah (Gundale dan Deluca, 2006). Residu biochar, pupuk organik lama dan baru mempengaruhi bahan organik tanah pada tanaman jagung kedua. Bahan organik tanah mempengaruhi bobot isi tanah sebesar 90,1% (R<sup>2</sup>).

Bobot isi tanah yang meningkat akan mengurangi ruang pori di dalam tanah. Kondisi ini sangat jelas pada kombinasi biochar-pupuk kandang dibanding biochar saja. Peningkatan bobot isi tanah sebesar 12,68% akan menurunkan porositas tanah sebesar 17,61%. Hal ini menyebabkan total panjang total akar menurun masing-masing sebesar 36,2% dan 26,24%. Kombinasi biochar-pupuk kandang menurunkan kandungan bahan organik tanah. Kandungan bahan organik tanah yang menurun akan mempengaruhi porositas tanah dan kemantapan agregat tanah. Porositas tanah dari residu kombinasi biochar dan pupuk organik menurun secara nyata dibanding residu biochar saja. Residu kombinasi pupuk kandang dan



biochar pupuk kandang maupun biochar sampah menghasilkan porositas masing-masing sebesar 37% dan 40% yang lebih rendah dari residu biochar, pupuk organik baru masing-masing sebesar 40 - 47%. Apabila pupuk kandang dikombinasi dengan biochar maka kemantapan agregat akan menurun sebesar 40,45% bila dibandingkan dengan biochar saja. Residu dari kombinasi biochar-pupuk kandang tidak meningkatkan sifat fisik tanah pada tanaman jagung kedua.

Penambahan bahan organik (pupuk kandang) akan meningkatkan pori total tanah dan akan menurunkan berat volume tanah. Bahan organik tanah pada awal penelitian sebesar 1,07%. Setelah aplikasi pupuk organik maupun biochar telah menaikkan bahan organik tanah berkisar 2,98% - 5,53% hingga 8 minggu. Bahan organik tanah hingga 16 minggu menunjukkan hasil berkisar 3,07% - 3,53%. Peningkatan bahan organik tanah dengan aplikasi pupuk organik maupun biochar akan meningkatkan porositas tanah. Bahan organik tanah dapat mempengaruhi porositas tanah sebesar 89,3% ( $R^2$ ). Porositas tanah pada awal penelitian sebesar 35,13% menjadi 36,93% - 53,23% setelah aplikasi pupuk organik maupun biochar pada percobaan pertama dan 44,37% - 45,70% pada percobaan residualnya. Adanya tambahan pupuk organik baru yang sebelumnya telah diberi pupuk organik menunjukkan pengaruh yang sama terhadap porositas tanah jika dibandingkan dengan biochar yang hanya sekali aplikasi.

Bahan organik tanah merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah yang berperan sebagai bahan perekat antar partikel tanah untuk bersatu menjadi agregat tanah. Bahan organik tanah dari residu biochar, pupuk organik lama dan baru dapat mempengaruhi kemantapan agregat tanah sebesar 79,8% ( $R^2$ ) (Widowati, 2010). Kemantapan agregat dari kompos baru meningkat sangat nyata dibanding residu kompos lama. Penambahan kompos baru meningkatkan kemantapan agregat sebesar 45,49% lebih tinggi daripada yang lama. Aplikasi arang limbah organik ke tanah meningkatkan sifat fisik tanah, peningkatan kesuburan tanah dan retensi hara (Sombroek *et al.*, 1993; Lehmann dan Rondon., 2005).

Sifat biochar yang sangat berpori hasil dari mempertahankan struktur dinding sel dari bahan baku biomassa. Berbagai macam ukuran pori biochar dalam area permukaan besar dan bobot isi rendah. Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.*, 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya, dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007). Biochar memiliki bulk density jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis ( $\sim 0,3 \text{ Mg m}^{-3}$

untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah dari  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ ) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi total keseluruhan bulk density tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman (Brady dan Weil, 2004).

Peningkatan luas permukaan, porositas, dan bobot isi rendah dalam tanah mineral dengan biochar dapat mengubah retensi air, agregasi, dan penurunan erosi tanah (Piccolo dan Mbagwu, 1990; Piccolo *et al.*, 1996; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Retensi air tanah ditentukan oleh distribusi dan konektivitas dari pori-pori dalam matriks tanah, yang sebagian besar dipengaruhi oleh tekstur tanah, agregasi, dan kandungan bahan organik tanah (Brady dan Weil, 2004). Biochar memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dan porositas lebih besar relatif terhadap jenis lain bahan organik tanah, dan karena itu dapat memperbaiki tekstur tanah dan agregasi, yang meningkatkan retensi air dalam tanah. Ini mulai sifat fisik biochar terjadi pada berbagai skala dan mempengaruhi proporsi air daripada yang dapat dipertahankan. Kishimoto dan Sugiura (1985) memperkirakan luas permukaan bagian dalam dari charcoal terbentuk antara 400 dan  $1000^\circ\text{C}$  berkisar  $200\text{-}400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Van Zwieten *et al.* (2009) melaporkan luas permukaan biochar yang berasal dari limbah pabrik kertas dengan pirolisis lambat menjadi  $115 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Sifat ini dapat saja berubah dari waktu ke waktu dengan pelapukan fisik, tetapi belum secara eksplisit meneliti sehingga mengakibatkan ketidakpastian yang terkait perubahan fisik yang bermanfaat dalam tanah.

Peningkatan retensi kelembaban akibat tidak langsung dari perubahan dalam agregasi dan struktur tanah setelah aplikasi biochar. Biochar dapat mempengaruhi agregasi tanah melalui interaksi dengan karbon organik tanah, mineral, dan mikroorganisme, namun karakteristik muatan permukaan dan perkembangan dari waktu ke waktu menentukan agregasi tanah pada efek jangka panjang. Glaser *et al.* (2002) melaporkan bahwa Anthrosol yang diperkaya dengan arang memiliki area permukaan tiga kali lebih tinggi dibandingkan Oxisol, dan memiliki peningkatan kapasitas lapang 18%. Tryon (1948) mempelajari efek dari arang pada persentase kelembaban yang tersedia di tanah tekstur yang berbeda dan menemukan respon yang berbeda diantara tanah. Pada tanah berpasir, penambahan arang meningkat kelembaban yang tersedia sebesar 18% setelah menambahkan 45% biochar (volume), sementara tidak ada perubahan yang diamati dalam tanah liat, dan kelembaban tersedia tanah menurun di tanah liat. Luas permukaan tinggi biochar dapat menyebabkan retensi air meningkat, meskipun efek tampaknya tergantung pada tekstur tanah awal. Peningkatan daya ikat air dengan penambahan biochar ini paling sering diamati pada tanah berpasir (Glaser *et al.*, 2002). Dampak dari penambahan biochar pada kadar air mungkin karena peningkatan luas permukaan relatif dengan yang ditemukan dalam tanah bertekstur

kasar (Glaser *et al.*, 2002). Oleh karena itu, perbaikan dalam retensi air tanah dengan penambahan biochar hanya dapat diharapkan dalam tanah bertekstur kasar atau tanah dengan pori-pori makro dalam jumlah besar. Selain itu, sejumlah besar biochar perlu diaplikasikan ke tanah sebelum meningkatkan retensi air.

Biochar dapat digunakan secara luas sebagai agen untuk memperbaiki tanah, meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya, remediasi dan/atau proteksi melawan polusi lingkungan dan sebagai agen mitigasi gas rumah kaca (Lehmann & Joseph, 2015). Hasil-hasil penelitian terkini, mengindikasikan bahwa biochar memiliki porositas yang tinggi (Downie *et al.*, 2009), luas dan muatan permukaan yang tinggi sehingga dapat memperbaiki struktur tanah, bobot volume tanah, meningkatkan kapasitas tanah menyimpan air dan hara (Baronti *et al.*, 2014) dapat menambah unsur hara (Biederman & Harpole, 2013; Ding *et al.*, 2016), dan juga menjadi hunian yang aman dan nyaman bagi organism tanah (Lehmann *et al.*, 2011). Lebih dari itu, biochar lebih stabil bertahan di dalam tanah dibandingkan dengan bahan pembenah tanah lainnya sehingga fungsinya di dalam tanah bersifat jangka panjang (Wang *et al.*, 2016).

Respon tanaman terhadap biochar sangat bergantung kepada material dan cara pembuatan biochar (Major *et al.*, 2009). Kandungan mineral biochar juga akan bervariasi bergantung kepada material yang digunakan (Yao *et al.*, 2012). Biochar secara langsung memberikan efek pada tanaman kacang-kacangan seperti meningkatkan fiksasi N biologis (Rondon *et al.*, 2007; Mia *et al.*, 2014), meningkatkan toleransi kekeringan (pertumbuhan, efisiensi penggunaan air dan hubungan antara tanah-tanaman (emisi gas N<sub>2</sub>O tanah) (Kammann *et al.*, 2011), dan meningkatkan potensial air daun (Baronti *et al.*, 2014). Pemberian biochar mampu meningkatkan ketersediaan air dalam tanah. Persentase pori air tersedia tertinggi terdapat pada pemberian jenis biochar tempurung kelapa sebesar 21,55% vol dan diikuti oleh pemberian jenis biochar sekam padi serta pori air tersedia terendah terdapat pada jenis biochar kayu. Persentase pori air tersedia tertinggi terdapat pada pemberian dosis biochar 45 t ha<sup>-1</sup> dan diikuti oleh pemberian dosis biochar 30 t ha<sup>-1</sup> dan 15 t ha<sup>-1</sup>.

### **Bobot Isi Tanah**

Secara umum pemberian biochar dan pupuk organik menurunkan bobot isi tanah pada ketiga jenis tanah tetapi tidak semua perlakuan memberikan tingkat penurunan yang sama pada masing-masing jenis tanah (Tabel 22). Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki *bulk density* jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis (~ 0,3 Mg m<sup>-3</sup> untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah 1,3 Mg m<sup>-3</sup>) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi *bulk density* tanah

yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu aplikasi biochar mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Pemberian bahan organik mempengaruhi agregasi sehingga tercipta ruang pori-pori yang berakibat pada penurunan partikel padatan tanah yang berimplikasi untuk mengurangi pemadatan tanah yang mempengaruhi akar menembus tanah. Setelah diberi perlakuan, nilai bobot isi tanah terendah pada masing-masing jenis tanah berbeda. Bobot isi tanah Entisol terendah dari perlakuan biochar sekam padi yang memiliki *Bulk density* lebih tinggi dari jenis biochar lainnya.

Ketiga jenis biochar yang diberikan pada tanah Litosol menghasilkan bobot isi tanah yang sama. Jika masing-masing jenis biochar dikombinasi dengan pupuk organik maka bobot isi tanah lebih rendah daripada jika hanya menggunakan biochar tunggal. Penurunan bobot isi tanah Litosol dari perlakuan kombinasi biochar dan pupuk organik lebih besar daripada hanya menerapkan biochar, berturut-turut 16% dan 7%.

Bobot isi tanah Inseptisol menunjukkan nilai yang sama dari perlakuan biochar tongkol, kombinasi biochar sekam dan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar jengkok dan kompos, dan pupuk kandang ayam. Perlakuan yang diberikan menurunkan bobot isi tanah sebesar 17 - 26% pada tanah Inseptisol.

#### **Bobot Partikel Tanah**

Semua perlakuan belum cukup signifikan menurunkan bobot partikel tanah Entisol. Bobot partikel tanah Entisol meningkat dengan kombinasi biochar tongkol dan pupuk kandang ayam maupun kombinasi biochar jengkok dengan pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang ayam). Bobot partikel tanah Litosol tertinggi jika pupuk kandang ayam dikombinasi dengan biochar tongkol jagung ataupun dengan biochar jengkok. Demikian pula pada tanah Inseptisol, bobot partikel tertinggi pada perlakuan kombinasi biochar jengkok dengan pupuk kandang ayam (Tabel 23).

Tanah bertekstur kasar mempunyai kemampuan memegang air yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang bertekstur halus. Kadar bahan organik dalam tanah mempengaruhi agregasi tanah yang selanjutnya akan mempengaruhi bobot partikel, bobot isi, dan ruang pori di dalam tanah.



Tabel 22. Bobot isi tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Isi Tanah (g cm <sup>-3</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	1.015	±	0.022 c	0.832	±	0.011 c	0.924	±	0.074 e
S	0.923	±	0.016 a	0.772	±	0.026 b	0.735	±	0.107 bc
T	0.962	±	0.037 ab	0.778	±	0.016 b	0.687	±	0.028 a
J	0.966	±	0.017 abc	0.767	±	0.005 b	0.808	±	0.023 d
SA	0.955	±	0.038 ab	0.699	±	0.026 a	0.697	±	0.026 a
SK	1.001	±	0.006 b	0.711	±	0.008 a	0.771	±	0.040 c
TA	1.013	±	0.046 c	0.689	±	0.022 a	0.710	±	0.034 ab
TK	0.972	±	0.017 abc	0.726	±	0.007 ab	0.790	±	0.010 c
JA	0.999	±	0.043 bc	0.720	±	0.010 ab	0.760	±	0.030 c
JK	0.960	±	0.053 ab	0.677	±	0.010 a	0.682	±	0.004 a
A	1.016	±	0.025 c	0.711	±	0.005 a	0.679	±	0.002 a
K	0.960	±	0.009 ab	0.823	±	0.041 c	0.771	±	0.039 c

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Tabel 23. Bobot partikel tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Partikel Tanah (g cm <sup>-3</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	2.367	±	0.006 ab	2.3	±	0.061 b	2.	±	0.0 ab
S	2.405	±	0.056 bc	2.2	±	0.033 a	2.	±	0.0 a <sub>2</sub>
T	2.322	±	0.064 ab	2.4	±	0.022 c <sub>39</sub>	2.	±	0.0 ab
J	2.294	±	0.012 a	2.3	±	0.035 b	2.	±	0.0 a
SA	2.362	±	0.070 abc	2.3	±	0.014 c	2.	±	0.0 c
SK	2.283	±	0.021 abc	2.1	±	0.006 a	2.	±	0.0 b
TA	2.414	±	0.029 c	2.5	±	0.016 d	2.	±	0.0 b
TK	2.324	±	0.022 abc	2.3	±	0.120 c	2.	±	0.0 b
JA	2.425	±	0.022 c	2.5	±	0.046 d	2.	±	0.0 d
JK	2.445	±	0.147 c	2.3	±	0.127 c	2.	±	0.0 c
A	2.397	±	0.006 bc	2.2	±	0.077 b	2.	±	0.0 b
K	2.321	±	0.022 ab	2.3	±	0.032 c	2.	±	0.0 c

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Porositas tanah

Hampir semua perlakuan yang diterapkan pada penelitian ini tidak menurunkan porositas tanah Entisol, bahkan terjadi kenaikan dengan biochar sekam padi (Tabel 24). Porositas tanah Entisol meningkat 8% dari 57% (kontrol) menjadi 62% (biochar sekam padi). Porositas meningkat setelah diberi perlakuan pada tanah Litosol maupun Inceptisol. Perlakuan terbaik untuk meningkatkan porositas tanah liat berasal dari kombinasi jenis biochar dan pupuk organik. Kombinasi biochar tongkol meningkatkan porositas tanah Litosol sebesar 14% sedangkan kombinasi biochar jengkok dan kompos meningkatkan porositas tanah Inceptisol sebesar 21%. Menurut Asai *et al.* (2009), biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air mengakibatkan ketersediaan unsur hara yang lebih baik. Jenis biochar dan pupuk organik memberi respon yang berbeda pada tanah bertekstur liat karena masing-masing tanah mengandung pasir, debu, liat dan C organik yang berbeda (Tabel 2). Demikian pula karena perbedaan karakteristik biochar dan pupuk organik (Tabel 1). Ammu and Anitha (2015) menyatakan porositas tertinggi dari biochar pertumbuhan kayu liat mengakibatkan kapasitas pegang air secara signifikan lebih tinggi.

Tabel 24. Porositas tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Porositas Tanah (%)								
	Entisol			Litosol			Inceptisol		
Kontrol	57.117	± 0.996	ab	63.924 ± 1.329	a		58.582 ± 2.842	a	
S	61.598	± 0.310	d	65.816 ± 1.049	ab		66.088 ± 5.196	cd	
T	58.536	± 2.709	ab	67.764 ± 0.957	bc		68.911 ± 1.204	d	
J	57.874	± 0.922	ab	66.813 ± 0.664	abc		62.372 ± 1.232	b	
SA	59.524	± 2.779	bc	70.243 ± 1.172	d		70.872 ± 1.086	de	
SK	56.149	± 0.189	ab	67.580 ± 0.329	bcd		66.180 ± 1.987	cd	
TA	58.042	± 1.515	ab	72.884 ± 1.025	e		68.471 ± 1.554	de	
TK	58.190	± 0.356	ab	69.220 ± 1.808	cd		65.197 ± 0.952	c	
JA	58.803	± 2.138	bc	69.239 ± 0.113	cd		70.476 ± 1.304	de	
JK	60.555	± 4.501	cd	71.448 ± 1.131	de		71.157 ± 0.462	e	
A	55.117	± 0.907	a	68.971 ± 1.282	cd		70.541 ± 0.292	de	
K	58.628	± 0.527	bc	65.313 ± 1.385	ab		66.907 ± 2.193	c	

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Pori makro menunjukkan pori drainase cepat. Penurunan pori makro sejalan dengan penurunan porositas pada tanah Entisol. Perlakuan pupuk kandang ayam terbaik dalam menurunkan pori makro pada tanah berpasir, sebesar 21,4% dari

37,3% menjadi 29,3%. Semua ukuran pertikel pupuk kandang ayam terendah dibanding ketiga jenis biochar maupun kompos (Tabel 1) yang mungkin lebih cocok untuk menurunkan pori makro pada tanah dengan kadar pasir tertinggi. Penurunan pori makro sangat penting pada tanah berpasir supaya pori meso ataupun pori mikro meningkat sehingga kapasitas pegang air meningkat dan lebih banyak air yang bisa dimanfaatkan.

Sebaliknya pada tanah liat, semua perlakuan meningkatkan pori makro pada tanah Inseptisol. Kenaikan pori makro tertinggi sebesar 179% dari 13% menjadi 36% dari kombinasi biochar jengkok dan kompos pada Inseptisol. Akan tetapi tidak semua jenis biochar maupun kombinasinya dengan pupuk organik dapat meningkatkan pori makro pada tanah Litosol. Biochar sekam dan tongkol memberi pengaruh yang sama untuk meningkatkan pori makro pada tanah Litosol. Penggunaan biochar jengkok yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam menunjukkan pori makro yang lebih baik daripada biochar jengkok yang digunakan secara tunggal. Penggunaan pupuk kandang ayam yang dikombinasi dengan biochar sekam maupun biochar tongkol menghasilkan pori makro yang lebih tinggi daripada perlakuan tunggal pada tanah Litosol (Tabel 25). Kenaikan pori makro sebesar 28% dari 32% menjadi 45% dari kombinasi pupuk kandang ayam dengan biochar sekam maupun kombinasinya dengan biochar tongkol. Persentase pori makro yang meningkat pada tanah liat bermanfaat untuk aerasi sehingga tanah tidak kelebihan air yang berdampak pada pernafasan akar tanaman terhambat.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah dengan persentase pori makro pada ketiga jenis tanah dengan nilai  $r = -0,807$  (Entisol);  $r = -0,454$  (Litosol);  $r = -0,873$  (Inseptisol). Semakin tinggi bobot isi tanah semakin rendah persentase pori makro, dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,65 (Entisol); 0,21 (Litosol) dan 0,76 (Inseptisol).

Pori meso menunjukkan pori air tersedia bagi tanaman. Pori meso meningkat 28% dari 9,6% (kontrol) menjadi 13,4% (biochar dan pupuk organik) pada tanah berpasir. Purakayastha *et al.* (2013) melaporkan kapasitas air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung (456%). Lebih lanjut disampaikan bahwa peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air dari biochar.

Jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan secara kombinasi maupun tunggal memberi pengaruh yang sama pada peningkatan pori meso tanah berpasir (Tabel 26). Hasil penelitian ini sejalan dengan Atkinson *et al.*, 2010; Sutono dan Nurida 2012; dan Suwardji *et al.*, 2012 yang melaporkan biochar efektif memperbaiki retensi air tanah pada tanah berpasir. Peningkatan kapasitas air tersedia sebesar 16% dengan penambahan biochar kotoran sapi (Sukartono dan Utomo, 2012).



Distribusi ukuran partikel mencerminkan pori-pori, biochar memiliki pori-pori lebih tinggi daripada pupuk organik yang bermanfaat untuk meningkatkan luas permukaan tanah pada tekstur pasir berlempung. Disamping itu bahan organik sebagai granulator yang mempengaruhi pembentukan agregat tanah dan menjadikan struktur remah. Bahan organik mampu meningkatkan jumlah air yang dapat ditahan di dalam tanah.

Tabel 25. Persentase pori makro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Makro (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	37.345	± 5.501	b	32.359	± 1.744	a	13.010	± 2.580	a
S	38.556	± 0.483	b	36.476	± 0.862	b	27.512	± 1.875	cd
T	35.616	± 3.107	ab	36.932	± 2.576	b	33.022	± 3.434	d
J	35.159	± 1.040	ab	26.334	± 1.402	a	18.818	± 2.159	ab
SA	37.533	± 3.865	b	45.128	± 4.873	c	34.881	± 1.972	de
SK	31.980	± 0.376	ab	27.799	± 3.359	a	24.489	± 3.178	b
TA	31.888	± 4.780	ab	44.794	± 1.791	c	31.480	± 3.542	de
TK	35.050	± 0.118	ab	37.015	± 4.763	b	22.987	± 1.610	bc
JA	35.031	± 3.122	ab	35.407	± 3.623	b	28.991	± 3.880	cd
JK	37.935	± 5.449	b	40.087	± 2.287	bc	36.339	± 2.036	e
A	29.386	± 0.686	a	37.130	± 3.047	b	28.210	± 1.305	cd
K	35.617	± 0.741	ab	31.869	± 3.237	a	28.347	± 4.630	cd

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% (kontrol) menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada tanah Inseptisol. Selanjutnya pori meso juga menurun dengan kombinasi pupuk kandang ayam dan biochar sekam maupun biochar tongkol tetapi tidak mengalami penurunan jika dikombinasi dengan kompos pada Inseptisol. Penggunaan biochar sekam dan tongkol secara tunggal lebih baik dalam menurunkan pori meso daripada jika dikombinasikan dengan pupuk kandang. Biochar jengkok yang digunakan secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam tidak menurunkan pori meso, tetapi akan menurun jika dikombinasi dengan kompos pada Inseptisol.

Pengaruh penggunaan biochar jengkok pada pori meso tanah Inseptisol berbeda dengan tanah Litosol meskipun kedua jenis tanah memiliki tekstur liat. Karbon organik tanah Litosol dua kali lebih besar daripada tanah Inseptisol, kadar liat dan pori meso tanah Litosol lebih rendah dari Inseptisol (Tabel 1). Biochar jengkok



dapat menurunkan pori meso sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0% pada tanah Litosol. Sedangkan pada tanah Inseptisol tidak menunjukkan penurunan pori meso. Biochar jengkok memiliki kapasitas memegang air lebih rendah (143,7%), ukuran partikel (0,044 mm dan 0,25 mm) lebih rendah; dan ukuran partikel (0,595 dan 1 mm) lebih tinggi dibanding biochar lainnya. Namun perlakuan lainnya tidak menunjukkan penurunan pori meso pada tanah Litosol.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi dengan persentase pori meso dengan nilai  $r = 0,371$  (Entisol) dan  $r = 0,578$  (Inseptisol), sedangkan pada Litosol tidak menunjukkan korelasi yang nyata. Nilai  $R^2$  sebesar 0,14 (Entisol) dan 0,33 (Inseptisol).

Tabel 26. Persentase pori meso pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Meso (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	9.614	± 4.262	a	11.456	± 1.166	bc	17.422	± 2.663	c
S	13.834	± 0.228	b	11.063	± 1.207	bc	8.783	± 5.935	a
T	12.328	± 0.738	ab	13.072	± 1.865	bc	11.718	± 2.943	a
J	12.791	± 0.199	ab	5.038	± 6.068	a	18.123	± 2.230	c
SA	12.231	± 0.979	ab	11.785	± 1.180	bc	12.787	± 1.453	b
SK	13.124	± 0.205	b	12.001	± 6.130	bc	18.256	± 0.905	c
TA	13.915	± 1.855	b	13.439	± 0.463	bc	12.065	± 2.540	b
TK	12.387	± 0.375	ab	11.498	± 2.040	bc	17.272	± 0.648	c
JA	13.838	± 1.016	b	12.855	± 1.720	bc	18.182	± 0.769	c
JK	12.866	± 1.029	ab	14.401	± 1.195	c	13.586	± 1.424	b
A	15.869	± 0.523	b	13.964	± 2.848	bc	15.748	± 0.248	bc
K	14.198	± 0.280	b	10.844	± 1.989	b	12.999	± 2.613	b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Pori mikro merupakan pori drainase lambat yang menentukan kemampuan tanah memegang air. Pemberian jenis biochar dan pupuk organik belum berpengaruh terhadap peningkatan persentase pori mikro bahkan ada penurunan pori mikro dari perlakuan biochar sekam pada tanah berpasir (Tabel 27).

Pada tanah Inseptisol, semua perlakuan dapat menurunkan pori mikro kecuali biochar sekam. Kombinasi biochar jengkok dan kompos maupun yang hanya menggunakan pupuk kandang ayam menurunkan pori mikro sebesar 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1% pada tanah Inseptisol. Perlakuan lainnya juga menurunkan pori mikro sebesar 14,9% dari 28,3% menjadi 24,1% pada tanah Inseptisol.

Penurunan persentase pori mikro pada tanah Inseptisol bermanfaat untuk mengurangi kadar air yang berlebih yang mengganggu aerasi tanah. Penambahan bahan organik berperan untuk agregasi tanah liat sehingga sirkulasi udara berjalan lebih baik.

Penggunaan jenis biochar dapat meningkatkan dan menurunkan pori mikro pada tanah Litosol. Biochar sekam dan tongkol menurunkan pori mikro sebesar 11,9% dari 20,2% menjadi 17,8% pada Litosol, tetapi biochar jengkok meningkatkan pori mikro sebesar 22,9% dari 20,2% menjadi 26,2% pada tanah Litosol. Biochar jengkok memiliki kapasitas pegang air dan ukuran partikel (0,044 mm dan 0,250 mm) yang terendah dan ukuran partikel (0,595 mm dan 1 mm) yang tertinggi dibandingkan jenis biochar lainnya. Ketiga jenis biochar yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam dapat menurunkan pori mikro, tetapi tidak demikian jika dikombinasi dengan kompos pada tanah Litosol.

Penurunan pori mikro pada tanah liat berimplikasi pada berkurangnya air berlebih yang menghalangi sirkulasi udara sehingga membatasi kebutuhan oksigen bagi akar tanaman yang berakibat pada kematian tanaman.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah berliat dengan persentase pori mikro dengan nilai  $r = 0,557$  (Litosol) dan  $r = 0,536$  (Inseptisol). Nilai  $R^2$  sebesar 0,29 (Inseptisol) dan 0,31 (Litosol) tetapi pada tanah pasir korelasi tidak nyata.

Tabel 27. Persentase pori mikro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori mikro (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	10.171	± 0.297	bc	20.229	± 0.686	d	28.323	± 0.587	e
S	8.933	± 0.116	a	17.745	± 0.441	c	29.827	± 0.756	f
T	10.802	± 0.343	bc	17.836	± 0.284	c	24.198	± 0.723	bc
J	9.982	± 0.031	b	26.192	± 0.731	f	25.167	± 1.259	d
SA	9.929	± 0.123	b	14.911	± 1.136	a	23.300	± 0.608	b
SK	10.934	± 0.114	bc	21.102	± 0.176	e	23.310	± 0.598	b
TA	11.002	± 0.004	c	14.670	± 0.571	a	24.731	± 0.466	cd
TK	10.773	± 0.392	bc	19.226	± 0.689	d	24.820	± 0.312	cd
JA	9.984	± 0.027	bc	18.844	± 0.270	d	23.122	± 2.186	b
JK	9.951	± 0.084	b	14.817	± 0.316	a	21.129	± 0.224	a
A	9.862	± 0.240	b	15.759	± 0.672	b	21.047	± 0.082	a
K	9.023	± 0.040	b	21.761	± 0.413	e	25.864	± 0.236	d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

## 5.2. PENGARUH BIOCHAR PADA SIFAT KIMIA TANAH

Perubahan signifikan dalam meningkatkan kualitas tanah termasuk pada pH, karbon organik, dan kapasitas tukar kation serta penurunan kekuatan tarik dan peningkatan kapasitas lapang pada tingkat yang lebih tinggi dari aplikasi biochar (> 50 ton/ha) (Chan *et al.*, 2007). pH tanah dari residu pupuk organik lama, baru berbeda sangat nyata dibanding biochar, kombinasi biochar dan pupuk kandang. Perbedaan yang sangat nyata antara pupuk organik lama dibanding biochar; antara pupuk organik baru dibanding biochar; antara biochar dibanding kombinasi biochar dan pupuk kandang; antara pupuk kandang lama dibanding pupuk kandang baru. Kompos lama berbeda nyata dibanding kompos baru. Pada awal sebelum tanam, pH tanah menunjukkan nilai 6,37. Efek Residu pupuk kandang lama dan pupuk kandang baru terhadap pH tanah menunjukkan hasil masing-masing 6,93 dan 6,73. Setelah melalui 2 kali masa tanam, aplikasi pupuk kandang menurunkan nilai pH. Efek Residu pupuk kompos dan kompos baru menunjukkan hasil masing-masing 7,1 dan 7. Biochar pupuk kandang dan biochar sampah masing-masing 7,1 dan 7,17. Kombinasi pupuk kandang dan biochar pupuk kandang maupun biochar sampah masing-masing 7,20 dan 7,37. Setelah 2 kali masa tanam, residu biochar dapat menghasilkan pH yang lebih baik daripada pupuk kandang. Peningkatan nilai pH tanah dengan penambahan pupuk kandang baru tidak lebih baik dari efek residu biochar dalam memperbaiki pH tanah. Efek residu pupuk kandang lama menurunkan nilai pH (Widowati, 2010). Penambahan biochar ke tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah dan dengan demikian meningkatkan hasil panen pada lahan pertanian (Chan *et al.*, 2007). Efek pupuk dapat dijelaskan oleh stimulasi mikroorganisme tanah bahwa oleh karena itu mengarah ke peningkatan daur ulang unsur hara terjebak dalam residu biomassa. Fungsi pupuk tambahan didukung oleh retensi air meningkat dan kapasitas pertukaran kation disebabkan oleh luas permukaan besar dari biochar.

Bahan organik tanah merupakan sumber utama muatan negatif pada tanah tropis, pemeliharaan bahan organik tanah adalah penting untuk adsorpsi tukar kation. Setelah 4 bulan, KTK tanah dari residu pupuk kandang baru meningkat secara nyata dibanding pupuk kandang lama, sebesar 12,58%. KTK tanah dari residu kompos lama tidak berbeda dibanding kompos baru. KTK tanah dari pupuk organik lama maupun baru tidak berbeda dibanding biochar. KTK tanah dari residu biochar saja tidak berbeda dibanding residu kombinasi biochar dan pupuk kandang.

Penambahan pupuk organik maupun biochar akan meningkatkan muatan negatif tanah sehingga akan meningkatkan kapasitas tukar kation. Sumber muatan negatif berasal dari gugus karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH). Sebelum penanaman, KTK tanah sebesar 34,02 me/100 g. Setelah 2 kali masa tanam, KTK



tanah meningkat dengan aplikasi pupuk organik maupun biochar. Penelitian arang di tanah menunjukkan bahwa arang telah berpengaruh penting pada kapasitas tukar kation (Liang *et al.*, 2006). KTK tanah dari residu pupuk kandang lama maupun kompos lama dan kompos baru memberi pengaruh yang sama dengan residu biochar yaitu berkisar 36-38 me/100 g. Residu pupuk kandang lama dan penambahan pupuk kandang baru dapat meningkatkan KTK tanah menjadi 40,72 me/100 g. Residu dari kombinasi pupuk kandang lama dan biochar pupuk kandang maupun biochar sampah menghasilkan KTK tanah sebesar 38 me/100 g. Biochar mempunyai area permukaan yang tinggi, sangat berpori, bahan organik yang memiliki potensi untuk meningkatkan kapasitas memegang air, kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa ketika ditambahkan ke tanah (Bélanger *et al.*, 2004; Liang *et al.*, 2006). Luas permukaan, porositas, dan kepadatan muatan sehubungan dengan suhu pembentukan biochar (Gundale dan Deluca, 2006; Bormermann *et al.*, 2007).

KB tinggi sebagai petunjuk bahwa kation basa tidak banyak yang tercuci. Residu dari biochar meningkat sangat nyata dibanding residu pupuk organik lama (32,04%), baru (22,52%), maupun kombinasi biochar dan pupuk kandang (21,43%). Hal ini menunjukkan residu biochar menghasilkan KB yang lebih tinggi dari residu pupuk organik baru pada periode tanam kedua. Pengaruh residu biochar dikaitkan dengan konsentrasi kation basa yang meningkat di dalam tanah (Gaskin *et al.*, 2008). Residu biochar pupuk kandang menghasilkan KB sebesar 70,33% yang lebih tinggi dari biochar sampah sebesar 65,67%. Pengaruh residu biochar menunjukkan KB yang lebih baik daripada residu pupuk organik yang ditambah pupuk organik baru maupun residu pupuk organik lama yang berkisar 48 - 58%. Residu dari kombinasi pupuk kandang lama dan biochar pupuk kandang maupun biochar sampah menghasilkan KB sebesar 53 - 59%. Ketersediaan K, Ca, dan Mg lebih tinggi dengan penambahan arang (Lehmann *et al.*, 2002). Penelitian lain melaporkan bahwa meningkatnya konsentrasi K, Ca, dan Mg pada pertumbuhan tanaman dengan perubahan kesuburan dan berbagai biochar (Rondon *et al.*, 2007; Steiner *et al.*, 2007; Topoliantz *et al.*, 2005.). Selain biochar dapat meningkatnya jumlah unsur hara tersedia seperti N, P dan ion logam di dalam tanah (Tryon, 1948; Lehmann *et al.*, 2003; Gundale dan Deluca, 2006). Penambahan biochar untuk meningkatkan kapasitas tukar kation tanah (Glaser *et al.*, 2002), dan dapat menyebabkan kapasitas menahan air yang lebih besar meskipun secara umum menurunkan kepadatan massa (Tryon, 1948) serta peningkatan P tersedia dan kation dalam tanah.

Biochar memiliki potensi untuk meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Lehmann *et al.*, 2003). Ketersediaan hara dapat dipengaruhi oleh peningkatan kapasitas tukar kation, perubahan pH tanah, ataupun langsung kontribusi unsur hara dari biochar. Salah satu mekanisme potensial untuk



peningkatan retensi hara dan pasokan hara setelah amandemen biochar. KTK meningkat hingga 50% dibandingkan dengan tanah yang tidak diamendemen (Lehmann, 2003; Liang, 2006; Tryon, 1948; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Biochar memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menyerap dan mempertahankan kation dalam bentuk tukar daripada bentuk-bentuk lain dari bahan organik tanah karena luas permukaan yang lebih besar, serta muatan negatif permukaan (Liang *et al.*, 2006). Penelitian telah menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam ketersediaan semua kation utama (Glaser *et al.*, 2002; Topoliantz *et al.*, 2005; Lehmann, 2003). Tryon (1948) menemukan peningkatan jumlah kation basis di tanah liat berpasir dan setelah menambahkan 45% arang kayu konifer. Selain itu, biochar yang baru diproduksi memiliki kapasitas pertukaran anion. Cheng *et al.* (2008) menemukan biochar menunjukkan kapasitas pertukaran anion pada pH 3,5 yang turun menjadi nol dari waktu ke waktu karena umur dalam tanah.

Biochar memiliki afinitas penyerapan tinggi untuk berbagai senyawa organik dan anorganik dan kemampuan retensi hara tinggi dibandingkan dengan bentuk lain dari bahan organik tanah (Nguyen *et al.*, 2004). Setelah ditambahkan ke dalam tanah, oksidasi permukaan abiotik dan biotik biochar yang akan meningkatkan gugus karboksil permukaan, muatan negatif yang lebih besar, dan kemudian meningkatkan kemampuan untuk menyerap kation (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006). Hal ini juga menunjukkan kemampuan untuk penyerapan senyawa polar termasuk banyak kontaminan lingkungan. Kapasitas tukar kation biochar sangat bervariasi tergantung pada kondisi pirolisis di mana ia diproduksi. Kapasitas tukar kation lebih rendah pada suhu pirolisis rendah dan secara signifikan meningkat ketika diproduksi pada suhu tinggi (Lehmann, 2007). Biochar baru diproduksi memiliki sedikit kemampuan untuk mempertahankan kation sehingga KTK minimal (Cheng *et al.*, 2006, 2008), tetapi meningkat dengan waktu dalam tanah dengan oksidasi permukaan (Cheng *et al.*, 2006.). Ini mendukung temuan KTK tinggi diamati pada Anthrosol Amazon (Liang *et al.*, 2006).

Biochar dapat berfungsi sebagai agen pengapuran sehingga pH meningkat dan ketersediaan unsur hara untuk sejumlah jenis tanah yang berbeda (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann dan Rondon 2006). Konsentrasi karbonat biochar memfasilitasi pengapuran dalam tanah dan dapat meningkatkan pH tanah, baik tanah netral atau asam (Van Zwiiten *et al.*, 2007). Mbagwu dan Piccolo (1997) melaporkan pH berbagai tekstur tanah meningkat pH hingga 1,2 unit dari pH 5,4-6,6. Tryon (1948) melaporkan peningkatan yang lebih besar dalam pH di tanah liat berpasir daripada di tanah bertekstur liat. pH tanah berbagai meningkat setelah aplikasi arang kayu (pH 6.15) daripada konifer arang (pH 5.15) mungkin karena kandungan abu yang berbeda masing-masing 6,38% dan 1,48% (Glaser *et al.*, 2002).

Bahan baku biochar dan kondisi pirolisis sebagian besar menentukan konsentrasi karbonat yang dihasilkan, membuat beberapa biochar agen pengapuran yang lebih baik daripada yang lain. Konsentrasi karbonat dapat bervariasi 0,5-33% (Chan *et al.*, 2007) tergantung pada kondisi awal. Arang kayu dilaporkan memiliki konsentrasi karbonat besar dan terbukti lebih efektif dalam mengurangi keasaman tanah, sehingga memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kesuburan tanah (Steiner, 2007). Pengapuran tanah asam menurunkan kejenuhan Al, sementara meningkatkan kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa. (Cochrane dan Sanchez, 1980; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Selain itu, sebenarnya ketersediaan hara meningkat melebihi jumlah yang diantisipasi oleh pertukaran kation sendiri sebagai akibat dari garam larut yang tersedia di biochar tersebut.

Efek pengapuran terkait dengan biochar mungkin tidak cocok untuk semua jenis tanah dan tanaman. Peningkatan pH tanah terkait dengan penambahan biochar telah menyebabkan defisiensi mikronutrien pada tanaman pertanian (Kishimoto dan Sugiura, 1985) dan vegetasi hutan sehingga penting untuk mengakui keberadaan vegetasi *calcifuge* sebelum aplikasi. Selain itu, banyak tanaman hutan, jamur dan bakteri berkembang di tanah pH rendah sehingga mengubah pH tanah hutan melalui penambahan biochar dapat mengakibatkan pergeseran yang tidak menguntungkan di atas dan di bawah pertumbuhan. Memahami interaksi antara produksi biochar dan kondisi aplikasi, tekstur tanah, bahan organik, dan pH tanah akan menjadi faktor kunci dalam menentukan efek jangka panjang dari aplikasi biochar pada tanah hutan.

Dalam jangka pendek, biochar dapat menyediakan sumber unsur hara tersedia bagi tanaman sekali diterapkan pada tanah (Gaskin *et al.*, 2008; Sohi *et al.*, 2010). Sebagian kecil dari unsur hara dalam bahan baku, selain dari N, tetap tertahan di biochar dalam bentuk yang diekstrak. Tidak pasti apakah unsur hara larut dilepaskan seketika setelah ditambahkan ke lingkungan tanah, atau dilepaskan dari waktu ke waktu (Sohi *et al.* 2010), tapi kemungkinan akan tergantung pada sifat fisik tanah awal. Pengenalan cepat unsur hara yang mudah tersedia dan sejumlah kecil C labil dipertahankan dalam biochar bisa menyebabkan mineralisasi bahan organik tanah, terutama di lingkungan unsur hara terbatas. Selain itu, biochar alkali dapat meningkatkan pH tanah asam dan kemudian merangsang aktivitas mikroba sehingga lebih meningkatkan mineralisasi atau dekomposisi bahan organik tanah yang ada.

Chan *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa perubahan kimia dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Beberapa penelitian telah menemukan bahwa penambahan biochar ke tanah meningkatkan jumlah C (Van Zwieten *et al.*, 2010), N total, pH, KTK, P tersedia, dan kation tukar (misalnya Ca, Mg, Na, dan K) dalam tanah (Chan *et al.*, 2008). Demikian pula, Mayor

*et al.* (2010) menemukan bahwa penambahan biochar meningkatkan Ca dan Mg tersedia, serta pH di dalam tanah. Chan *et al.* (2007) melaporkan bahwa penambahan biochar dari limbah hijau (campuran potongan rumput, sampah, dan pemangkasan tanaman) ke tanah mengakibatkan peningkatan karbon organik, Na, K, dan Ca, P diekstrak, dan penurunan tersedia Al dalam tanah. Umumnya, perubahan pada karakteristik tanah yang sebanding dengan jumlah biochar yang diterapkan (Chan *et al.*, 2007).

Biochar mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation. Afinitas yang tinggi sangat membantu dalam menyelesaikan masalah polusi tanah dan air karena penggunaan berbagai bahan kimia pertanian yang berlebihan. Di samping itu, biochar merupakan senyawa karbon yang relatif stabil, jauh lebih stabil dari senyawa organik yang tidak diarsir (Badlock dan Smernik, 2002). Kedua karakteristik ini telah melahirkan gagasan bahwa biochar akan sangat bermanfaat untuk mengurangi laju degradasi tanah, sehingga kesinambungan produksi pangan dapat dijamin. Hasil penelitian pada tanah lempung berdebu telah menunjukkan bahwa aplikasi biochar pada tanaman jagung musim tanam pertama telah menghasilkan jagung yang relatif sama selama tiga musim tanam meskipun tidak menambahkan pupuk P dan K pada musim kedua dan ketiga dan mengurangi pencucian nitrat dan kalium (Widowati *et al.*, 2012). Widowati dan Sutoyo (2017) menyampaikan bahwa biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda dapat mengurangi pemakaian pupuk N dan K pada tanah terdegradasi. Penerapan biochar dapat menghambat transformasi  $\text{N-NH}_4$  menjadi  $\text{N-NO}_3$ . Setelah 28 hari inkubasi, ada  $60 \text{ mg kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4$  (biochar pupuk kandang ayam) dan  $52 \text{ mg kg}^{-1}$  (biochar sampah organik) dibandingkan dengan  $40 \text{ mg kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4$  (pupuk kandang ayam) dan  $12 \text{ mg kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4$  (kontrol). Hilangnya nitrogen karena pencucian dari tanah yang diberi dengan biochar adalah 470 - 510 mg, sedangkan dari tanah yang tidak diberi biochar 641 mg (Widowati *et al.*, 2011).

Biochar lebih stabil dari yang lainnya dan ketersediaan hara meningkat melebihi efek pupuk (Lehmann, 2009), tetapi sifat dasar stabilitas dan kapasitas unsur hara lebih efektif dibandingkan dengan bahan organik lain di dalam tanah. Kemampuan ini karena sifat kimia dan sifat fisik yang spesifik, seperti kepadatan tinggi (Liang *et al.*, 2006), yang menghasilkan retensi hara yang jauh lebih besar, dan dalam kombinasi dengan struktur kimia yang spesifik (Baldock dan Smernik, 2002) yang menyediakan jauh lebih besar ketahanan terhadap pembusukan mikroba dari bahan organik tanah lainnya (Cheng *et al.*, 2008). Pada tanah alkalin, biochar dapat meningkatkan P tersedia karena reaktivitas P meningkat dan membentuk senyawa tidak larut dengan Ca (DeLuca *et al.*, 2009). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat kimia, fisika dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002 dan Chan *et al.*,



2007). Penggunaan biochar dapat meningkatkan pH tanah dan meningkatkan KTK tanah (Liang *et al.*, 2006; Yamato *et al.*, 2006). Steiner *et al.* (2008) telah melaporkan adanya peningkatan efisiensi pemupukan nitrogen pada tanah yang mengandung biochar. Perbaikan struktur tanah, peningkatan kapasitas penyimpanan air tanah dan penurunan kekuatan tanah telah dilaporkan oleh Chan *et al.* (2007) yang melakukan penelitian pada tanah yang mudah mengeras di Australia. Pengaruh positif biochar terhadap kesuburan biologi tanah terjadi melalui peningkatan aktivitas jasad mikro tanah sehingga dapat meningkatkan komposisi dan biomassa jasad mikro tanah (Steiner *et al.*, 2008). Lehmann dan Rondon (2006) melaporkan bahwa hasil tanaman meningkat dengan meningkatnya aplikasi biochar hingga 140 Mg C/ha (namun tingkat hasil maksimal belum tercapai) pada tanah di daerah tropis lembab. Rondon *et al.* (2004) menyatakan bahwa pertumbuhan biomassa (*Phaseolus vulgaris* L.) meningkat dengan aplikasi biochar sampai dengan 60 Mg C ha<sup>-1</sup> tetapi menurun dengan nilai yang sama seperti untuk perlakuan kontrol saat aplikasi biochar ditingkatkan menjadi 90 Mg C ha<sup>-1</sup> (walaupun hasil kacang masih meningkat). Lehmann dan Rondon (2006) menyimpulkan bahwa tanaman memberikan respon positif hingga biochar dosis 50 Mg C ha<sup>-1</sup>. Hasil jagung tertinggi pada biochar sekam padi 30 t ha<sup>-1</sup>. Namun dari hasil penelitian Widowati dan Karamina (2015), terjadi pengurangan hasil jagung sebesar 4% (biochar sekam padi) dan 9% (tempurung kelapa muda) jika dosis biochar ditingkatkan dari 30 t ha<sup>-1</sup> menjadi 45 t ha<sup>-1</sup> pada tanah lempung berliat.

5

Sebagian besar kation-kation Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> dan K<sup>+</sup> yang ada dalam tanah berbiochar tidak terikat oleh gaya elektro statik, tetapi hadir sebagai garam terlarut oleh karena itu mudah tersedia dan diserap oleh tanaman (Glaser *et al.*, 2002). Pada fase awal keberadaan biochar dalam tanah, oksidasi abiotik juga dijumpai lebih penting dari pada oksidasi biotik dalam pembentukan muatan permukaan negatif dan KTK (Cheng *et al.*, 2006). Meningkatnya KTK tanah setelah aplikasi biochar disebabkan oleh adanya pembentukan gugus karboksilat hasil oksidasi abiotik yang terjadi pada permukaan luar partikel biochar (Cheng *et al.*, 2006). Hal inilah yang selalu dijadikan alasan penguat meningkatnya KTK setelah aplikasi biochar dalam tanah. Menurut Sohi *et al.* (2009), KTK tanah merupakan suatu ukuran seberapa baik hara diikat oleh tanah sehingga dapat menahan hara akibat proses *leaching* ke bagian bawah tanah maupun kehilangan permukaan tanah.

Biochar merupakan karbon aktif yang mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbon anorganik. Dengan kandungan senyawa organik dan anorganik yang terdapat didalamnya, biochar banyak digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan kualitas tanah, khususnya tanah marginal atau lahan kering (Rondon *et al.*, 2007; Hunt *et al.*, 2010). Biochar dapat berfungsi sebagai



pembenah tanah, meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memasok sejumlah unsur hara yang berguna serta meningkatkan sifat fisik dan biologi tanah (Glasser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Steiner, 2007).

Biochar mampu memperbaiki tanah melalui kemampuannya meningkatkan pH, meretensi air, meretensi hara, dan meningkatkan aktivitas biota dalam tanah serta mengurangi pencemaran (Laird *et al.*, 2008). Namun, biochar tidak mampu menyediakan unsur hara secara langsung, tetapi secara tidak langsung biochar mampu mengurangi hilangnya hara melalui pelindian, sehingga efisiensi pemupukan dapat ditingkatkan. Biochar merupakan bahan alternatif untuk perbaikan kesuburan tanah sekaligus untuk perbaikan lingkungan yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Biochar dapat memperbaiki sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Kehilangan N melalui pemupukan dapat dikurangi dengan penambahan biochar (Steiner 2007). Kualitas dari biochar sangat ditentukan oleh karakteristik bahan baku dan proses pirolisis (Amonette dan Joseph, 2009). Bahan dasar yang digunakan akan mempengaruhi sifat-sifat biochar itu sendiri dan mempunyai efek yang berbeda-beda terhadap produktivitas tanah dan tanaman (Gani 2009). Abu merupakan bahan yang tersisa apabila biomassa dipanaskan hingga beratnya konstan. Salah satu unsure utama yang terkandung dalam abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Kadar abu berhubungan positif dengan kandungan lignin bahan. Kadar SiO<sub>2</sub> berhubungan positif dengan kandungan lignin dan membentuk hubungan kuadratik sesuai dengan persamaan  $Y = 0,030 \times 2 - 1355x + 54,76$  ( $R^2=0,763$ ). Komposisi fraksi abu biochar sebagian besar tergantung pada kandungan mineral dalam bahan baku karena sebagian besar unsur-unsur anorganik tidak menguap pada suhu pirolisis.

### **Bahan Organik Tanah**

Setelah penambahan biochar dan pupuk organik ke tanah, variasi karakteristik biochar dan pupuk organik dapat menyebabkan pengaruh yang bervariasi pada bahan organik tanah maupun jenis tanah. Bahan organik tanah Entisol, Litosol, dan Inseptisol setelah perlakuan disajikan pada Tabel 8-12. Perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah pada hari ke-7 sampai ke-98. Jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah (nilai signifikan  $<\alpha(=0.05)$ ).

Perubahan karbon organik akan mempengaruhi kesuburan tanah. Penggunaan biochar dan pupuk organik meningkatkan bahan organik tanah sejak

hari ke-7 sampai hari ke-98 pada tiga jenis tanah. Menurut Widowati *et al.* (2015), ada interaksi antara jenis dan dosis biochar yang diaplikasikan pada tanah lempung berliat yang ditanami jagung pada kandungan karbon organik tanah. Jenis biochar sekam padi dosis 30 t ha<sup>-1</sup> terbaik dalam meningkatkan karbon organik. Kadar bahan organik tanah sangat bervariasi naik dan turun di setiap hari pengamatan. Bahan organik tanah dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada pupuk organik. Biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos meningkatkan bahan organik tanah Litosol pada 7-14 hari setelah inkubasi tetapi biochar tongkol jagung yang dicampur kompos meningkatkan bahan organik tanah Entisol pada hari ke-98. Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008).

Setiap jenis tanah menunjukkan kadar bahan organik tanah yang berbeda meskipun dengan perlakuan yang sama. Bahan organik tanah Litosol lebih tinggi daripada Inseptisol pada semua pengamatan meskipun kedua tanah memiliki tekstur yang sama (liat). Hal ini berhubungan dengan bahan organik tanah awal dari Litosol (1,36%) lebih besar dari Inseptisol (0,72%). Bahan organik tanah Litosol yang tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos maupun pupuk kandang kotoran ayam. Bahan organik tanah tertinggi sebesar 3,56 - 3,98% (Litosol); 1,3 - 2,1% (Inseptisol); dan 0,97 - 1,85% (Entisol) (Tabel 27). Penggunaan berbagai jenis biochar dan pupuk organik belum menunjukkan perbedaan yang mencolok pada bahan organik tanah Entisol pada hari ke-7 tetapi tidak demikian pada hari ke-14. Hal ini menunjukkan kenaikan bahan organik tanah Entisol secara tajam dimulai pada hari ke-14 (0,94 - 2,5%). Namun bahan organik tanah Inseptisol dari perlakuan campuran biochar dan pupuk organik cenderung lebih baik daripada hanya diberi biochar saja pada hari ke-7 (Tabel 27).

Setelah hari-14, bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (Entisol), biochar tongkol jagung yang tidak berbeda dengan campuran biochar jengkok tembakau dan kompos (Litosol), serta biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar tongkol jagung (Inseptisol). Telah dilaporkan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Total karbon dari tongkol jagung dan jengkok tembakau, berturut-turut 46% dan 40% yang lebih tinggi dari perlakuan lainnya. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amendemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009). Widowati *et al.* (2015) melaporkan bahwa hingga musim tanam ketiga, serapan dan efisiensi

pemupukan nitrogen dari biochar lebih tinggi daripada penambahan pupuk organik baru dan lebih tinggi daripada pupuk organik sekali pemberian.

Bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (Entisol dan Inseptisol) serta biochar tongkol jagung (Litosol) pada hari ke-28 (Tabel 24) dan ke-56 (Tabel 30). Kemungkinan pengaruh dari rasio C/N dan pH pada dekomposisi bahan organik. Rasio C/N pada kedua tanah sama (7) sedangkan pH tanah Entisol (5,5) dan Inseptisol (5,3) cenderung masam sehingga perlakuan biochar jengkok tertinggi untuk meningkatkan bahan organik pada kedua jenis tanah (Entisol dan Inseptisol).

6  
Tabel 28. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-7 (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.758	±0.067	a	1.590	±0.018	A	1.127	±0.000	a
S	1.119	±0.001	ab	1.891	±0.065	Ab	1.334	±0.307	ab
T	1.415	±0.282	ab	3.169	±0.470	Ef	1.631	±0.148	abc
J	1.849	±0.269	b	3.981	±0.494	G	1.581	±0.161	abc
SA	1.476	±0.005	ab	2.596	±0.139	Cd	1.945	±0.144	c
SK	0.974	±0.141	ab	2.245	±0.276	Bcd	1.673	±0.278	abc
TA	1.469	±0.133	ab	2.654	±0.141	D	1.723	±0.492	bc
TK	1.800	±0.000	b	2.099	±0.419	Bc	1.938	±0.141	c
JA	1.690	±0.281	b	3.780	±0.370	G	2.099	±0.556	c
JK	1.693	±0.154	b	3.559	±0.639	fg	2.109	±0.365	c
A	1.414	±0.281	ab	2.684	±0.162	de	2.021	±0.162	c
K	1.400	±0.311	ab	2.436	±0.570	cd	1.612	±0.321	abc

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Kandungan liat pada tanah Litosol lebih rendah daripada Inseptisol. Kemampuan tanah menahan air terletak pada kandungan liat. Kapasitas pegang air dari biochar tongkol jagung (249,6%) lebih tinggi daripada biochar jengkok (143,7%). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat meningkatkan kapasitas tanah menahan air sehingga biochar dapat mempertahankan air dalam tanah Litosol sehingga reaktivitasnya meningkat, baik mikroba untuk memperbanyak diri dan untuk berbagai unsur dan senyawa lainnya serta kelembaban tanah untuk laju dekomposisi.

6

Tabel 29. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-14 (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.724	±0.068	a	1.598	±0.011	a	1.057	±0.069	a
S	1.303	±0.087	e	2.348	±0.209	b	1.879	±0.055	c
T	1.505	±0.138	f	4.467	±0.150	e	3.433	±0.037	g
J	2.486	±0.173	i	3.988	±0.031	d	3.404	±0.078	g
SA	1.032	±0.022	bc	2.245	±0.136	b	1.685	±0.024	b
SK	1.085	±0.037	cd	2.775	±0.158	c	1.656	±0.060	b
TA	1.201	±0.042	de	2.728	±0.025	c	2.588	±0.345	f
TK	1.823	±0.040	g	3.010	±0.090	d	1.926	±0.010	cd
JA	1.638	±0.075	f	2.889	±0.032	c	2.236	±0.051	e
JK	1.906	±0.140	h	4.647	±0.061	e	2.583	±0.010	f
A	1.299	±0.051	e	2.267	±0.036	b	2.099	±0.026	d
K	0.940	±0.044	b	3.130	±0.157	c	1.793	±0.025	bc

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\* Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

6

Tabel 30. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-28 (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.859	±0.026	a	1.598	±0.011	A	1.202	±0.075	a
S	1.267	±0.199	bc	2.624	±0.030	D	1.990	±0.031	c
T	1.966	±0.020	e	5.004	±0.088	I	2.870	±0.062	f
J	3.042	±0.040	f	4.143	±0.029	H	3.368	±0.021	g
SA	1.187	±0.052	bc	2.724	±0.045	De	1.539	±0.035	b
SK	1.142	±0.087	b	2.913	±0.009	f	1.380	±0.222	b
TA	1.509	±0.068	d	3.247	±0.066	b	1.528	±0.020	b
TK	1.650	±0.513	d	2.854	±0.045	ef	1.995	±0.038	c
JA	1.906	±0.027	e	2.448	±0.037	c	2.232	±0.017	d
JK	1.888	±0.010	e	3.532	±0.027	g	2.453	±0.023	e
A	1.332	±0.034	c	2.241	±0.023	b	1.949	±0.026	c
K	1.228	±0.050	bc	2.654	±0.240	d	1.960	±0.020	c

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$



Tabel 31 menunjukkan bahan organik tanah tertinggi pada campuran biochar tongkol jagung dan kompos (Entisol), biochar jengkok tembakau (Litosol), dan biochar tongkol jagung yang tidak berbeda nyata dengan biochar jengkok tembakau (Inseptisol) pada akhir pengamatan (hari ke-98). Bahan organik tanah Litosol dari perlakuan biochar sekam padi meningkat dari 2,5% menjadi 2,8 - 2,9% jika biochar sekam dicampur pupuk organik (pupuk kandang kotoran ayam maupun kompos).

Pengamatan hari ke-98 menunjukkan bahan organik tanah Entisol yang meningkat 2 - 2,4 kali jika biochar tongkol jagung dicampur pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang kotoran ayam). Sebaliknya bahan organik tanah Litosol maupun Inseptisol menurun 1,3 - 1,5 kali jika biochar tongkol dicampur pupuk organik. Demikian pula bahan organik tanah Litosol dan Inseptisol menurun sebesar 1,1 - 1,4 kali jika biochar jengkok tembakau digunakan bersama pupuk organik.

Dinamika kadar bahan organik dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Perubahan kadar bahan organik meningkat, menurun, ataupun tetap tidak terlepas dari proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum kadar bahan organik cenderung tetap, naik atau turun pada masing-masing pengamatan tergantung aplikasi biochar-pupuk organik maupun jenis tanah.

Biochar jengkok tembakau yang diterapkan pada Entisol menunjukkan bahan organik tertinggi sampai hari ke-28 dan akan semakin meningkat jika dicampur dengan pupuk kandang kotoran ayam pada hari ke-56, selanjutnya menurun sampai hari ke-98. Bahan organik tanah Litosol cenderung terus meningkat tajam hingga hari ke-28 dari perlakuan biochar tongkol jagung, selanjutnya semakin menurun sampai hari ke-98. Tidak demikian jika menggunakan biochar jengkok tembakau.

Tabel 31. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-56 (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.871	±0.024	a	1.598	±0.011	a	1.057	±0.069	a
S	1.052	±0.030	bc	2.366	±0.036	c	1.782	±0.017	d
T	1.580	±0.020	e	4.523	±0.340	g	2.240	±0.026	e
J	2.792	±0.043	g	3.807	±0.017	f	3.083	±0.057	g
SA	0.937	±0.014	ab	1.794	±0.036	b	1.593	±0.065	d
SK	1.266	±0.013	cd	1.870	±0.018	b	1.298	±0.085	b
TA	1.097	±0.026	bc	1.990	±0.045	b	1.121	±0.041	a
TK	1.247	±0.016	d	2.520	±0.098	c	1.674	±0.087	d
JA	3.252	±0.052	h	3.252	±0.052	e	2.647	±0.096	e
JK	2.044	±0.014	f	3.291	±0.101	e	2.476	±0.014	f
A	1.110	±0.013	cd	3.021	±0.112	d	1.634	±0.030	d
K	1.100	±0.021	cd	2.922	±0.060	d	1.410	±0.026	c

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Bahan organik tanah Litosol tidak mengalami lonjakan tajam naik maupun turun dari waktu ke waktu dari perlakuan biochar jengkok tembakau. Berbeda jika biochar jengkok tembakau dicampur dengan kompos, bahan organik tanah Litosol mengalami kenaikan dan penurunan pada hari ke-14 sampai hari ke-28, selanjutnya relatif sama hingga hari ke-98. Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.*, 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

Bahan organik tanah Inseptisol lebih tinggi pada perlakuan biochar jengkok tembakau dibandingkan perlakuan lainnya sampai hari ke-98. Bahan organik tanah Litosol meningkat hingga hari ke-14, selanjutnya menurun terus hingga hari ke-98.

Tabel 32. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-98 (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.865	±0.062	a	1.655	±0.203	a	1.094	±0.148	a
S	1.260	±0.087	cd	2.491	±0.035	b	1.754	±0.039	bc
T	1.426	±0.105	de	3.270	±0.017	d	2.553	±0.053	g
J	1.405	±0.027	de	4.037	±0.608	e	2.641	±0.082	g
SA	0.983	±0.050	ab	2.752	±0.018	c	2.189	±0.039	e
SK	2.024	±0.063	f	2.874	±0.047	c	1.847	±0.049	cd
TA	2.890	±0.090	g	2.625	±0.027	b	1.689	±0.043	bc
TK	3.424	±0.037	h	2.330	±0.044	b	2.001	±0.044	e
JA	1.647	±0.108	e	3.437	±0.027	d	2.482	±0.054	f
JK	1.414	±0.025	d	3.448	±0.020	d	1.920	±0.200	d
A	1.105	±0.018	b	2.594	±0.017	b	1.509	±0.035	b
K	1.217	±0.036	c	2.933	±0.033	c	1.870	±0.203	c

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan jumlah total ion dapat ditukar yang bermuatan positif (meq/100 g tanah). Sebuah KTK lebih tinggi menunjukkan kapasitas yang lebih tinggi dari tanah untuk menyerap dan menahan unsur hara dan karenanya ketersediaan hara menjadi lebih tinggi (Novak *et al.*, 2009). Biochar diperkirakan meningkatkan KTK karena kemampuannya untuk meningkatkan kadarunsur hara dan ketersediaan hara dalam tanah. Banyak tanah lokal mengandung liat tinggi dan bahan organik, yang mengarah KTK > 30 meq / 100 g tanah. Tanah berpasir di dekat pantai yang rendah liat dan bahan organik <10 meq / 100 g tanah. Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600°C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al.*, 2007; Lehmann, 2007a; Navia & Crowley, 2010). Temuan mereka menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit.

КТК merupakan sifat kimia yang berhubungan dengan kesuburan tanah. Tanah yang mengandung bahan organik atau liat tinggi memiliki КТК lebih tinggi daripada yang bahan organik rendah atau tanah berpasir (Hardjowogeno, 2007). Nilai КТК tergantung pada karakteristik tanah. КТК tanah dipengaruhi oleh pH, tekstur atau jumlah liat, jenis mineral liat, bahan organik, pengapuran dan pemupukan. Semakin halus tekstur tanah semakin tinggi КТК tanah. Proses penyerapan unsur hara oleh koloid tanah tidak berlangsung intensif pada КТК yang rendah dan akibatnya unsur-unsur hara mudah tercuci dan hilang melalui infiltrasi maupun perkolasi air ke dalam tanah sehingga hara tidak tersedia bagi tanaman.

Semua perlakuan dapat meningkatkan nilai КТК tanah pada 7 hari inkubasi. Kenaikan nilai КТК pada Entisol relatif sama pada semua perlakuan (53%) tetapi pada tanah Inseptisol dan Litosol tergantung perlakuan yang diberikan. Penggunaan pupuk organik secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan biochar jengkok pada Litosol dapat meningkatkan nilai КТК yang sama, sebesar 55%, sedangkan perlakuan lainnya meningkatkan nilai КТК sebesar 40%. Pada tanah Inseptisol, kenaikan nilai КТК lebih tinggi dari perlakuan biochar sekam+pupuk kandang ayam (63%) daripada perlakuan biochar+kompos (38%), tetapi kenaikan nilai КТК adalah sama antara perlakuan biochar tongkol jagung yang diaplikasi secara tunggal maupun yang digunakan bersama dengan pupuk kandang ayam ataupun kompos (35%). Perlakuan biochar jengkok secara tunggal tidak berbeda jika digunakan bersama pupuk organik, dengan kenaikan nilai КТК sebesar 53%. Kenaikan nilai КТК pada inkubasi 7 hari telah merubah status КТК tanah Inseptisol dari tinggi (25-40 c mol kg<sup>-1</sup>) menjadi sangat tinggi (>40 c mol kg<sup>-1</sup>) dengan semua perlakuan (Tabel 2). Hasil penelitian menunjukkan nilai КТК tanah Inseptisol berkurang pada inkubasi selanjutnya (14-98 hari) dengan status tinggi pada semua perlakuan (Tabel 22-25). Setelah inkubasi 14 hari, КТК tanah Inseptisol relatif tinggi (33-42 me/100 g<sup>-1</sup>) diberi perlakuan dan kontrol.



Tabel 33. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-7

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	32.363	± 2.713	a
S	17.010	± 1.674	b	32.530	± 2.001	b	43.565	± 4.569	bc
T	18.763	± 2.202	b	33.872	± 0.000	b	41.584	± 1.097	bc
J	19.120	± 1.074	b	35.566	± 0.057	bc	47.979	± 2.759	cd
SA	16.286	± 2.179	ab	34.199	± 1.630	bc	52.165	± 0.029	d
SK	17.436	± 1.716	b	32.392	± 0.531	b	42.098	± 1.642	c
TA	18.619	± 1.602	b	35.651	± 2.842	b	44.767	± 1.966	c
TS	18.676	± 1.100	b	32.159	± 0.740	b	44.625	± 0.556	c
JA	17.790	± 1.680	b	37.532	± 2.226	c	49.283	± 1.104	d
JK	17.582	± 1.602	b	38.008	± 1.404	c	51.019	± 1.118	d
A	17.284	± 0.565	b	37.264	± 1.104	c	38.084	± 1.019	b
K	17.903	± 2.107	b	37.118	± 2.254	c	46.179	± 0.563	d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Tabel 34. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-14

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	33.159	± 0.256	a
S	14.885	± 0.208	c	31.100	± 0.889	b	34.097	± 0.678	b
T	16.451	± 0.026	e	32.167	± 0.351	c	36.740	± 0.129	c
J	18.572	± 0.326	f	35.500	± 0.537	e	38.285	± 0.825	d
SA	16.537	± 0.538	de	32.133	± 0.058	c	39.649	± 0.121	e
SK	16.689	± 0.117	de	31.726	± 1.062	bc	32.795	± 0.110	a
TA	15.084	± 0.025	d	33.867	± 0.473	d	40.593	± 0.065	ef
TS	13.300	± 0.173	b	31.020	± 0.296	b	39.487	± 0.132	de
JA	15.578	± 0.451	d	36.400	± 0.361	f	39.244	± 0.110	de
JK	16.264	± 0.137	de	39.063	± 0.351	g	40.809	± 0.602	f
A	16.226	± 0.106	de	36.751	± 0.171	f	38.833	± 0.142	de
K	16.724	± 0.101	e	36.887	± 0.007	f	41.547	± 0.269	g

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Perlakuan memberikan variasi terhadap kenaikan nilai KTK pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-14. Nilai KTK Entisol tergolong rendah (5-16 cmol kg<sup>-1</sup>) tetapi perlakuan biochar jengkok dapat meningkatkan pada status sedang (17-

24 cmol kg<sup>-1</sup>). Pada Litosol menunjukkan bahwa status nilai KTK yang sedang (kontrol) meningkat menjadi tinggi (perlakuan) sedangkan pada tanah Inseptisol menunjukkan relatif tidak ada perubahan status nilai KTK (kategori tinggi dengan KTK 25-40 cmol kg<sup>-1</sup>).

Tingkat perubahan nilai KTK menunjukkan trend yang sama sejak inkubasi hari ke-7 hingga ke-98 pada Entisol dan Litosol. KTK dari ketiga jenis tanah, yaitu rendah (Entisol) serta tinggi (Litosol dan Inseptisol) pada inkubasi 28 hari. Inkubasi 28 hari, ketiga jenis biochar yang dicampur pupuk kandang ayam meningkatkan nilai KTK Entisol dan Litosol yang lebih baik daripada aplikasi biochar secara tunggal. Khususnya Litosol, hal tersebut telah konsisten mulai inkubasi 14, 28, 56, dan 98 hari. Namun pada Inseptisol, nilai KTK sangat beragam tergantung perlakuan pada 28 hari tetapi hasil yang serupa terjadi pada 7-14 hari.

Pada akhir inkubasi (98 hari), pemberian biochar dan pupuk organik dapat meningkatkan nilai KTK sebesar hampir 2 kali pada Entisol. Kenaikan nilai KTK Entisol tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok. Sementara itu ketiga jenis biochar maupun pupuk organik menunjukkan nilai KTK yang relatif sama pada Entisol. Kombinasi perlakuan antara biochar dan pupuk organik menunjukkan nilai KTK tanah Entisol yang lebih rendah dibandingkan penggunaan secara tunggal (kecuali biochar jengkok+pupuk kandang ayam). Pada 98 hari, nilai KTK dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada perlakuan pupuk organik pada Litosol. Penggunaan kombinasi biochar dengan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada aplikasi tunggal pada Litosol.

Tabel 35. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-28

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	32.578	± 0.508	a
S	14.461	± 0.211	cd	29.133	± 0.024	b	33.989	± 0.312	b
T	15.517	± 0.320	de	31.487	± 0.110	d	36.876	± 0.158	e
J	14.768	± 0.145	cd	35.249	± 1.122	f	35.061	± 0.161	c
SA	14.814	± 0.105	d	31.480	± 0.302	d	34.388	± 0.290	bc
SK	13.077	± 0.009	b	28.540	± 0.202	b	33.599	± 0.051	b
TA	15.878	± 0.200	e	34.208	± 0.201	e	35.098	± 0.051	b
TS	14.183	± 0.106	cd	32.083	± 0.695	d	38.176	± 0.022	f
JA	15.785	± 0.061	e	35.608	± 0.447	f	34.753	± 0.208	c
JK	12.967	± 0.208	b	30.050	± 0.276	c	36.200	± 0.050	de
A	13.832	± 0.379	bc	35.937	± 0.143	fg	35.554	± 0.397	cd
K	15.152	± 0.933	de	36.518	± 0.164	g	36.055	± 0.038	d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Penggunaan bersama antara biochar dan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada penggunaan secara tunggal pada tanah Inseptisol. Aplikasi kombinasi biochar sekam+pupuk kandang ayam lebih baik daripada penggunaan secara tunggal, kombinasi biochar tongkol+kompos lebih baik daripada aplikasi secara tunggal, kombinasi biochar jengkok+kompos tidak berbeda dengan kombinasi biochar jengkok+pupuk kandang ayam dan menunjukkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada digunakan secara tunggal (Tabel 25).

Tabel 26. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-56

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	31.464	± 0.306	a
S	13.333	± 0.231	b	26.567	± 0.115	b	33.133	± 0.058	c
T	16.800	± 0.100	e	30.700	± 0.656	e	37.786	± 0.021	h
J	14.287	± 0.203	c	31.394	± 0.212	f	36.108	± 0.023	g
SA	17.267	± 0.153	f	28.531	± 0.086	c	33.825	± 0.057	d
SK	16.533	± 0.252	e	28.838	± 0.114	c	34.138	± 0.030	e
TA	15.067	± 0.153	d	32.888	± 0.084	g	35.767	± 0.051	f
TS	17.333	± 0.208	f	30.094	± 0.020	d	33.288	± 0.020	c
JA	13.887	± 0.109	b	33.700	± 0.173	h	32.321	± 0.010	b
JK	13.342	± 0.235	b	30.734	± 0.075	e	35.825	± 0.113	f
A	17.500	± 0.300	f	32.851	± 0.048	g	34.095	± 0.015	e
K	11.931	± 0.073	a	30.715	± 0.058	e	33.667	± 0.052	d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Jenis tanah Litosol menunjukkan KTK dengan tren yang relatif tetap dari waktu ke waktu dan semua perlakuan kontrol menunjukkan KTK yang terendah. Berbeda dengan tanah Inseptisol, KTK tanah sedikit menurun pada 14 hari kemudian relatif sama hingga akhir pengamatan. Perlakuan pada tanah bertekstur liat (Litosol dan Inseptisol) menunjukkan perbedaan diantara kedua jenis tanah hanya pada 14 hari. KTK Inseptisol menurun dari 7 ke 14 hari selanjutnya tren KTK relatif sama hingga 98 hari, tetapi pada Litosol tidak ada perubahan nilai KTK. Tidak demikian dengan tanah berpasir (Entisol) yang sedikit ada peningkatan nilai KTK pada 98 hari.

Tabel 37. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-98

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )		
	Entisol	Litosol	Inseptisol
Kontrol	8.733 ± 0.473 a	24.733 ± 0.513 a	31.464 ± 0.306 a
S	17.691 ± 1.252 de	31.897 ± 0.145 c	37.945 ± 0.156 ef
T	17.639 ± 0.703 de	32.687 ± 0.301 d	34.939 ± 0.171 d
J	18.326 ± 0.762 ef	34.367 ± 0.666 f	33.358 ± 0.587 c
SA	15.752 ± 0.965 c	34.873 ± 0.404 f	41.363 ± 0.645 g
SK	15.604 ± 0.420 c	32.728 ± 0.169 d	32.206 ± 0.700 b
TA	17.886 ± 0.295 de	34.447 ± 1.129 f	34.665 ± 0.680 cd
TS	15.319 ± 0.553 c	33.246 ± 0.509 de	37.036 ± 0.121 e
JA	17.255 ± 0.844 d	34.332 ± 0.495 f	37.445 ± 0.493 ef
JK	13.098 ± 0.200 b	33.633 ± 0.451 e	38.000 ± 0.100 f
A	18.900 ± 0.755 f	30.125 ± 0.263 b	35.376 ± 0.552 d
K	17.295 ± 0.355 d	29.960 ± 0.918 b	33.856 ± 0.950 c

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### pH tanah

Biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun kombinasi memiliki efek menaikkan pH tanah. Meningkatkan pH tanah mungkin memberikan kontribusi yang paling penting untuk meningkatkan kualitas tanah. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann, 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa pirolisis dapat meningkatkan pH dari bahan baku menjadi biochar seperti: pH biochar sekam 9,44 dan pH sekam padi 4,30; pH biochar tongkol jagung 9,46 sedangkan pH tongkol jagung 5,10; pH biochar jengkok 8,91 sedangkan pH jengkok 5,6. Pupuk kandang ayam mempunyai pH 6,0 dan kompos 7,3. Biochar yang digunakan pada penelitian ini mempunyai pH yang bersifat basa sedangkan pH pupuk organik cenderung netral. Basa adalah akseptor proton, yang mengurangi konsentrasi ion bermuatan positif di dalam tanah, yang menyebabkan pH di atas 7. Menurut Hakim *et al.* (1986) faktor yang mempengaruhi pH antara lain: Kejenuhan basa, sifat misel (koloid), macam kation yang terjerap.



### Hari 7

Secara umum menunjukkan bahwa pH tanah Entisol dan Litosol meningkat dengan aplikasi biochar dan pupuk organik pada 7 hari inkubasi (Tabel 20). Akan tetapi pH tanah Inseptisol belum meningkat dengan pemberian biochar tongkol maupun kompos.

Inkubasi 7 hari di Entisol, perlakuan biochar sekam, biochar tongkol, pupuk kandang, dan kompos secara tunggal maupun campuran dapat meningkatkan nilai pH sebesar 0,3 unit dari 6,03 menjadi 6,34. Namun biochar jengkok terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,7 unit dari 6,03 menjadi 6,70. Pada inkubasi 7 hari di Litosol menunjukkan pH tertinggi pada perlakuan biochar tongkol dan jengkok, yaitu 0,4 unit dari 6,80 menjadi 7,22. Berbeda pada tanah Inseptisol, penggunaan pupuk kandang tunggal ataupun yang dicampur dengan biochar tongkol terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,4 unit, dari 5,93 menjadi 6,35.

Tabel 38. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 7 hari					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	6.033 ± 0.058	a	6.800 ± 0.200	a	5.933 ± 0.058	a
S	6.233 ± 0.058	b	7.000 ± 0.000	bc	6.100 ± 0.000	ab
T	6.167 ± 0.058	ab	7.200 ± 0.000	d	6.033 ± 0.058	a
J	6.700 ± 0.000	d	7.200 ± 0.000	d	6.233 ± 0.058	bc
SA	6.333 ± 0.058	bc	7.000 ± 0.000	bc	6.300 ± 0.000	b
SK	6.267 ± 0.058	bc	7.000 ± 0.000	bc	6.167 ± 0.115	ab
TA	6.400 ± 0.100	c	7.000 ± 0.000	bc	6.333 ± 0.115	c <sub>21</sub>
TS	6.200 ± 0.100	b	7.000 ± 0.000	bc	6.133 ± 0.058	ab
JA	6.433 ± 0.058	c	6.933 ± 0.058	bc	6.267 ± 0.058	bc
JK	6.633 ± 0.058	bc	7.167 ± 0.058	cd	6.267 ± 0.058	bc
A	6.400 ± 0.000	c	6.833 ± 0.058	ab	6.367 ± 0.289	c
K	6.333 ± 0.058	bc	7.033 ± 0.058	bc	6.067 ± 0.416	a

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 14

Sampai hari ke-14, semua perlakuan dapat meningkatkan pH di tiga jenis tanah (Tabel 40). Pada inkubasi 14 hari, kenaikan pH Entisol terbaik dari beberapa perlakuan, yaitu biochar jengkok, campuran kompos dengan biochar jengkok maupun tongkol serta pupuk kandang ayam. Kenaikan pH Entisol sebesar 0,8 unit dari 6,0 menjadi 6,8. Perlakuan biochar jengkok yang dicampur kompos yang

diterapkan pada Litosol merupakan perlakuan terbaik dalam meningkatkan pH tanah (0,5 unit), dari 6,7 menjadi 7,2 sedangkan perlakuan lainnya sekitar 7,0. Hampir semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah Inseptisol sebesar 0,8 unit dari 5,77 menjadi 6,53.

Tabel 39. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 14 hari								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	6.000	± 0.100	a	6.767	± 0.115	a	5.767	± 0.058	a
S	6.200	± 0.100	b	7.033	± 0.058	bc	6.533	± 0.058	d
T	6.600	± 0.100	d	7.067	± 0.058	cd	6.233	± 0.058	ab
J	6.867	± 0.058	e	7.067	± 0.058	cd	6.533	± 0.058	d
SA	6.200	± 0.100	b	7.033	± 0.058	bc	6.500	± 0.100	d
SK	6.367	± 0.153	c	7.033	± 0.058	bc	6.333	± 0.058	bc
TA	6.200	± 0.100	b	7.033	± 0.058	bc	6.533	± 0.058	d
TS	6.733	± 0.153	e	7.067	± 0.058	bc	6.233	± 0.058	ab
JA	6.567	± 0.115	d	7.067	± 0.058	cd	6.500	± 0.100	d
JK	6.833	± 0.058	e	7.200	± 0.100	d	6.433	± 0.058	cd
A	6.733	± 0.058	e	6.933	± 0.058	b	6.533	± 0.058	d
K	6.233	± 0.115	bc	6.867	± 0.058	ab	6.400	± 0.100	cd

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 28

pH Entisol pada inkubasi 28-56 hari menunjukkan trend yang sama dengan inkubasi sebelumnya, yaitu perlakuan terbaik dari biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan kompos. Kenaikan pH Entisol sebesar 0,9-1 unit dari 6,0 menjadi 6,9 (28 hari) dan dari 6,0 menjadi 7,0. Sementara itu sebagian besar perlakuan meningkatkan pH Litosol sebesar 0,4 unit dari 6,77 menjadi 7,15 tetapi khususnya perlakuan biochar jengkok dan kompos menghasilkan kenaikan pH tertinggi sebesar 7,37. pH tanah Inseptisol meningkat dengan semua perlakuan. Kenaikan pH dari 5,77 menjadi 6,10 sampai 6,73 dan terendah pada kompos dan tertinggi pada biochar sekam padi (Tabel 41).

### Hari 56

Inkubasi ke-56 hari menunjukkan kenaikan pH Litosol dari 6,77 menjadi 7,13 pada semua perlakuan, kecuali biochar jengkok sebesar 7,40 (Tabel 42). Semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah Inseptisol sebesar 0,7 dari 5,77 menjadi 6,51 akan tetapi khususnya perlakuan biochar tongkok yang dicampur kompos serta

biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang dapat menaikkan pH sebesar 0,95 unit menjadi 6,72.

Tabel 40. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 28 hari					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	6.067	± 0.058 a	6.767	± 0.115 a	5.767	± 0.058 a
S	6.213	± 0.115 b	7.167	± 0.058 bc	6.733	± 0.153 f
T	6.533	± 0.058 d	7.267	± 0.058 cd	6.267	± 0.058 c
J	6.967	± 0.058 f	7.167	± 0.058 bc	6.333	± 0.058 c
SA	6.233	± 0.058 b	7.067	± 0.058 ab	6.467	± 0.058 d
SK	6.533	± 0.058 d	7.167	± 0.058 bc	6.233	± 0.058 c
TA	6.333	± 0.058 bc	7.067	± 0.058 ab	6.433	± 0.058 d
TS	6.333	± 0.058 bc	7.167	± 0.058 bc	6.433	± 0.058 ef
JA	6.733	± 0.058 e	7.133	± 0.058 ab	6.633	± 0.058 e
JK	6.900	± 0.100 f	7.367	± 0.058 d	6.467	± 0.058 d
A	6.333	± 0.058 bc	7.067	± 0.058 ab	6.533	± 0.058 de
K	6.433	± 0.058 cd	7.233	± 0.058 c	6.100	± 0.100 b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\* Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Tabel 41. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 56 hari					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	6.067	± 0.058 a	6.767	± 0.115 a	5.767	± 0.058 a
S	6.533	± 0.058 de	7.167	± 0.058 b	6.550	± 0.050 c
T	6.467	± 0.058 d	7.067	± 0.058 b	6.333	± 0.058 b
J	7.067	± 0.115 f	7.400	± 0.100 c	6.667	± 0.058 de
SA	6.100	± 0.100 ab	7.100	± 0.100 b	6.667	± 0.058 de
SK	6.367	± 0.058 c	7.167	± 0.153 b	6.333	± 0.058 b
TA	6.300	± 0.100 c	7.100	± 0.100 b	6.367	± 0.058 bc
TS	6.533	± 0.058 de	7.167	± 0.153 b	6.700	± 0.100 e
JA	6.867	± 0.058 e	7.200	± 0.100 b	6.733	± 0.058 e
JK	7.067	± 0.058 f	7.200	± 0.100 b	6.667	± 0.058 de
A	6.200	± 0.100 bc	7.067	± 0.058 b	6.433	± 0.058 bc
K	6.667	± 0.058 de	7.100	± 0.100 b	6.567	± 0.058 cd

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 98

Pada akhir inkubasi, semua perlakuan meningkatkan pH dari ketiga jenis tanah (Tabel 43). Kenaikan masing-masing pH Entisol dari biochar sekam yang dicampur kompos maupun biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik. Kenaikan pH Entisol dari 6,07 menjadi 7,00. Semua perlakuan meningkatkan pH tanah Litosol dari 6,88 menjadi 7,13 sampai 7,37. Kenaikan pH tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dan biochar jengkok. Demikian pula yang terjadi pada tanah Inseptisol, kenaikan pH dari 5,80 menjadi 6,23 sampai 6,61. Kenaikan tertinggi dari perlakuan biochar sekam dan biochar tongkol.

Tabel 42. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 98 hari											
	Entisol				Litosol				Inseptisol			
Kontrol	6.067	±	0.058	a	6.867	±	0.115	a	5.800	±	0.100	a
S	6.467	±	0.153	bc	7.233	±	0.058	bc	6.633	±	0.058	e
T	6.500	±	0.100	c	7.367	±	0.058	d	6.633	±	0.058	e
J	6.700	±	0.100	d	7.367	±	0.058	d	6.567	±	0.058	de
SA	6.600	±	0.100	cd	7.167	±	0.058	bc	6.333	±	0.058	bc
SK	6.900	±	0.100	e	7.267	±	0.058	cd	6.333	±	0.058	bc
TA	7.133	±	0.058	e	7.167	±	0.058	bc	6.500	±	0.000	de
TS	6.600	±	0.100	cd	7.267	±	0.058	cd	6.300	±	0.000	b
JA	6.533	±	0.058	c	7.267	±	0.058	cd	6.533	±	0.058	de
JK	6.567	±	0.058	c	7.233	±	0.058	bc	6.533	±	0.058	de
A	6.333	±	0.058	b	7.133	±	0.058	b	6.233	±	0.058	b
K	6.500	±	0.100	c	7.267	±	0.058	cd	6.467	±	0.058	cd

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Kejenuhan Basa (KB)

#### Hari 7

Inkubasi 7 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang (Entisol) dan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang yang tidak berbeda dengan hanya pupuk kandang (Inseptisol). Sedangkan pada Litosol, semua perlakuan memberikan KB yang sama (Tabel 45).



Tabel 43. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 7 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	62.596	± 4.604 a	98.058	± 0.227 a	42.938	± 1.814 a
S	85.479	± 4.335 b	100.088	± 0.470 a <sub>5</sub>	46.031	± 7.053 ab
T	81.804	± 1.277 b	97.920	± 3.282 a	50.440	± 1.131 ab
J	88.606	± 3.697 bcd	99.944	± 0.504 a	54.004	± 1.426 bcd
SA	99.185	± 1.395 d	99.737	± 0.151 a	44.213	± 1.600 ab
SK	85.208	± 6.834 bc	96.016	± 2.928 a	58.383	± 4.885 cd
TA	95.031	± 4.151 cd	96.583	± 2.377 a	58.667	± 1.722 cd
TS	92.991	± 9.081 bcd	96.475	± 1.504 a	64.562	± 3.305 d
JA	91.465	± 5.099 bcd	98.826	± 0.837 a	54.101	± 2.681 bcd
JK	97.792	± 5.677 cd	97.697	± 2.299 a	45.725	± 0.089 ab
A	91.513	± 1.721 bcd	96.570	± 1.561 a	64.436	± 2.418 d
K	84.588	± 4.844 bc	99.620	± 0.554 a	46.698	± 3.237 ab

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 14

47

Inkubasi 14 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam (Entisol) dan biochar jengkok tunggal tidak berbeda dengan yang dicampur kompos (Inseptisol). Akan tetapi pada Litosol, KB menurun dengan pemberian pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang). Sedangkan perlakuan lainnya tidak berbeda dengan kontrol (Tabel 46).

Tabel 44. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 14 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	54.299	± 1.976 a	98.168	± 0.216 bc	43.295	± 0.389 a
S	77.633	± 3.014 b	99.990	± 0.708 c	70.708	± 0.589 d
T	86.989	± 1.204 e	99.694	± 0.893 c	67.092	± 1.903 c
J	93.000	± 0.637 h	98.666	± 2.835 bc	80.230	± 0.500 f
SA	81.914	± 2.177 c	100.289	± 0.213 c	73.591	± 1.616 de
SK	84.617	± 0.679 d	97.986	± 0.538 bc	63.286	± 2.182 b
TA	84.992	± 1.430 d	95.448	± 0.826 b	68.727	± 0.624 c
TS	91.331	± 0.098 gh	99.374	± 0.321 c	62.739	± 0.566 b
JA	88.934	± 2.923 ef	100.066	± 0.430 c	63.735	± 1.047 b
JK	89.950	± 1.633 fg	99.805	± 1.011 c	82.496	± 1.783 f
A	96.378	± 0.393 i	90.527	± 0.485 a	74.132	± 0.195 e
K	91.737	± 1.259 gh	88.150	± 0.346 a	72.035	± 1.172 de

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 28

Inkubasi 28 hari menunjukkan KB tertinggi pada biochar jengkok (Entisol) dan biochar sekam (Inseptisol). Sedangkan pada Litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 47).

Tabel 45. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 28 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	52.399	± 2.267 a	98.441	± 0.621 ab	44.165	± 0.921 a
S	81.472	± 0.800 d	100.170	± 0.339 b	82.774	± 1.459 g
T	85.490	± 0.412 e	100.307	± 0.032 b	72.969	± 1.006 de
J	97.093	± 2.819 h	96.904	± 3.733 a	74.774	± 0.822 de
SA	71.701	± 2.076 b	99.698	± 0.028 ab	77.457	± 0.483 ef
SK	88.635	± 0.536 f	97.079	± 1.339 ab	68.702	± 1.527 c
TA	78.045	± 0.742 c	99.803	± 0.151 ab	74.385	± 0.649 de
TS	87.844	± 1.302 ef	99.381	± 1.136 ab	74.413	± 1.008 de
JA	88.843	± 0.308 f	99.534	± 0.689 ab	77.293	± 1.517 ef
JK	92.498	± 0.123 g	98.654	± 1.851 ab	76.852	± 0.656 ef
A	88.770	± 1.269 f	99.420	± 1.844 ab	78.808	± 0.404 f
K	89.272	± 6.333 f	99.528	± 0.171 ab	65.467	± 1.948 b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 56

Inkubasi 56 hari menunjukkan peningkatan KB yang bervariasi pada masing-masing jenis tanah maupun biochar-pupuk organik (Tabel 48). KB tertinggi pada biochar jengkok yang tidak berbeda ketika dicampur dengan pupuk kandang (Entisol), biochar sekam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok yang dicampur kompos maupun kompos tunggal (Litosol), dan biochar sekam yang dikombinasi pupuk kandang maupun biochar jengkok yang dikombinasi pupuk kandang (Inseptisol).

Tabel 46. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 56 hari (%)		
	Entisol	Litosol	Inseptisol
Kontrol	51.830 ± 2.360 a	98.029 ± 0.261 bc	45.724 ± 0.767 a
S	81.595 ± 0.749 e	100.181 ± 0.401 d	88.572 ± 0.059 c
T	80.962 ± 0.578 e	99.760 ± 0.427 cd	83.992 ± 0.731 b
J	99.057 ± 0.852 g	99.514 ± 0.714 cd	90.547 ± 0.636 d
SA	75.439 ± 0.396 d	99.375 ± 0.543 cd	94.369 ± 0.219 f
SK	69.887 ± 1.857 c	99.604 ± 1.034 cd	84.933 ± 0.274 b
TA	63.012 ± 0.234 b	97.064 ± 0.709 a	84.440 ± 1.644 b
TS	69.132 ± 0.918 c	99.982 ± 0.505 cd	90.620 ± 0.075 d
JA	98.308 ± 0.684 g	99.988 ± 0.020 cd	94.126 ± 1.778 f
JK	94.904 ± 1.005 f	100.434 ± 0.037 d	90.915 ± 0.428 d
A	75.305 ± 1.663 d	97.783 ± 0.364 a	89.708 ± 0.077 c
K	93.541 ± 1.016 f	100.328 ± 0.088 d	92.513 ± 0.365 e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 98

Sampai pengamatan terakhir (98 hari), KB tertinggi pada biochar sekam yang dikombinasi kompos (Entisol) dan biochar tongkol (Inseptisol), sedangkan pada Litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 30).

Dinamika KB dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Jenis tanah Litosol menunjukkan KB dengan trend yang tidak melonjak naik atau turun dari waktu ke waktu, kecuali perlakuan kompos dan pupuk kandang. Akan tetapi KB menunjukkan tren dengan lonjakan naik dan turun dari waktu ke waktu pada tanah Inseptisol. Tidak demikian dengan Entisol yang sedikit ada peningkatan dan penurunan nilai KB pada 98 hari.

Tabel 47. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 98 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	69.215	± 1.667 a	99.585	± 0.719 ab	45.728	± 0.892 a
S	86.690	± 1.867 f	96.900	± 1.860 a	59.482	± 1.684 b
T	78.517	± 7.085 cd	98.405	± 0.992 ab	75.408	± 3.213 e
J	73.762	± 1.723 b	100.297	± 0.072 b	65.347	± 3.102 d
SA	74.797	± 2.672 c	98.903	± 1.577 ab	58.382	± 5.042 b
SK	97.412	± 2.514 h	97.415	± 1.013 ab	59.969	± 3.586 b
TA	94.593	± 3.690 g	100.304	± 0.083 b	60.729	± 0.569 b
TS	82.869	± 4.791 de	98.006	± 2.788 ab	57.944	± 1.416 b
JA	69.437	± 5.756 ab	99.744	± 0.279 ab	73.008	± 3.907 c
JK	83.764	± 1.040 e	99.288	± 0.430 ab	57.112	± 2.073 b
A	86.985	± 1.347 f	98.374	± 1.685 ab	58.579	± 2.953 b
K	69.590	± 0.924 ab	99.291	± 0.963 ab	56.394	± 1.157 b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

## Kation Basa

### Hari 7

Kation basa meningkat dengan perlakuan yang diberikan pada ketiga jenis tanah (Tabel 51). Inkubasi 7 hari pada Entisol menunjukkan kenaikan kation basa yang kurang lebih sama, dari 7,3 me 100 g<sup>-1</sup> menjadi rata-rata 16,1 me 100 g<sup>-1</sup> baik biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun campuran. Pada Litosol, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar jengkok yang dikombinasi dengan pupuk organik (pupuk organik maupun kompos), sebesar 37,1 me 100 g<sup>-1</sup> tetapi lainnya rata-rata sebesar 33,9 me 100 g<sup>-1</sup> (perlakuan) dan 23,7 me 100 g<sup>-1</sup> (kontrol). Kation basa tanah Inseptisol tertinggi diperoleh pada perlakuan biochar tongkol yang dikombinasi kompos, yaitu 28,8 me 100 g<sup>-1</sup> sedangkan lainnya 23,3 me 100 g<sup>-1</sup> (perlakuan) dan 13,1 me 100 g<sup>-1</sup> (kontrol).

### Hari 14

Inkubasi 14 hari pada Entisol menunjukkan variasi kation basa dengan perlakuan yang diberikan. Kation basa tertinggi dari tanah lempung berpasir (Entisol) berbeda dengan tanah liat, tetapi kation basa dari tanah liat (Litosol dan Inseptisol) diperoleh dari perlakuan yang sama (biochar jengkok dicampur kompos). Tanah Inseptisol menunjukkan kenaikan kation basa yang lebih tinggi daripada Litosol dari inkubasi 7



hingga 14 hari, yaitu dari 23,3 me 100 g<sup>-1</sup> menjadi 33,7 me 100 g<sup>-1</sup> (Inseptisol) serta dari 37,1 me 100 g<sup>-1</sup> menjadi 39 me 100 g<sup>-1</sup> (Litosol) (Tabel 52).

Tabel 48. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	7.308	± 0.225 a	23.730	± 0.133 a	13.128	± 0.185 a
S	14.504	± 1.000 b	32.553	± 1.854 bc	19.840	± 1.196 b
T	15.185	± 0.279 bc	33.168	± 1.112 bc	20.902	± 3.657 b
J	16.915	± 0.266 c	35.546	± 0.226 cd	25.887	± 0.921 de
SA	16.149	± 2.145 bc	34.108	± 1.576 c	23.063	± 0.830 cd
SK	14.804	± 1.130 b	31.092	± 0.524 b	24.525	± 1.099 de
TA	17.661	± 1.105 c	34.475	± 3.595 c	26.276	± 1.693 ef
TS	17.423	± 2.651 c	31.026	± 0.906 b	28.818	± 1.723 f
JA	16.297	± 2.131 bc	37.079	± 1.884 d	26.643	± 0.745 ef
JK	17.168	± 1.494 c	37.118	± 0.970 d	23.328	± 0.496 cd
A	15.811	± 0.220 bc	35.976	± 0.687 cd	21.063	± 4.827 b
K	15.075	± 0.916 bc	36.969	± 2.059 cd	21.553	± 1.243 bc

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 28

Inkubasi biochar jengkok pada Entisol menunjukkan kation basa tertinggi diamati mulai 14 hari hingga 56 hari, tetapi pada Litosol diamati mulai 14 hari hingga 98 hari. Pada 28 hari inkubasi di Litosol menunjukkan bahwa kation basa tertinggi juga diperoleh pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur dengan pupuk kandang ayam. Berbeda dengan Inseptisol, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur kompos pada 28 hari inkubasi (Tabel 53).

Tabel 49. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g-1)		
	Entisol	Litosol	Inseptisol
Kontrol	6.348 ± 0.188 a	23.756 ± 0.149 a	14.355 ± 0.053 a
S	11.554 ± 0.407 b	31.094 ± 0.773 b	24.107 ± 0.399 b
T	14.310 ± 0.176 ef	32.068 ± 0.411 c	24.648 ± 0.614 bc
J	17.271 ± 0.187 h	35.016 ± 0.497 e	30.714 ± 0.500 f
SA	13.539 ± 0.081 de	32.087 ± 0.105 c	29.178 ± 0.633 ef
SK	14.121 ± 0.066 ef	32.134 ± 0.106 c	24.047 ± 0.754 b
TA	12.820 ± 0.213 cd	32.691 ± 0.258 cd	27.898 ± 0.220 d
TS	12.147 ± 0.163 bc	30.825 ± 0.215 b	24.773 ± 0.215 bc
JA	13.846 ± 0.137 e	36.423 ± 0.281 f	25.012 ± 0.387 c
JK	14.629 ± 0.264 f	38.989 ± 0.724 g	33.659 ± 0.303 g
A	15.639 ± 0.163 g	33.270 ± 0.264 d	28.788 ± 0.177 e
K	15.342 ± 0.142 g	32.516 ± 0.133 cd	29.926 ± 0.345 f

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Tabel 50. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g-1)		
	Entisol	Litosol	Inseptisol
Kontrol	6.126 ± 0.242 a	23.823 ± 0.302 a	14.385 ± 0.102 a
S	11.781 ± 0.100 c	29.182 ± 0.085 c	28.132 ± 0.313 e
T	13.266 ± 0.278 de	31.583 ± 0.110 d	26.908 ± 0.389 d
J	14.336 ± 0.309 f	34.130 ± 0.345 e	26.216 ± 0.250 c
SA	9.621 ± 0.244 b	31.385 ± 0.303 d	26.636 ± 0.324 cd
SK	11.591 ± 0.078 c	27.705 ± 0.251 b	23.084 ± 0.548 b
TA	12.391 ± 0.053 c	34.141 ± 0.205 e	26.108 ± 0.266 c
TS	12.460 ± 0.266 cd	31.879 ± 0.329 d	28.408 ± 0.375 f
JA	14.024 ± 0.030 ef	31.667 ± 0.416 d	26.863 ± 0.675 cd
JK	11.994 ± 0.205 c	29.643 ± 0.375 c	27.821 ± 0.228 ef
A	12.275 ± 0.160 c	35.727 ± 0.534 g	28.021 ± 0.452 ef
K	13.487 ± 0.244 de	36.345 ± 0.110 g	23.604 ± 0.702 b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 56

Sampai pada inkubasi 56 hari, perlakuan biochar jengkok tembakau menunjukkan kation basa tertinggi pada masing-masing jenis tanah. Khususnya tanah Inseptisol, kation basa tertinggi juga dari perlakuan jengkok yang dicampur kompos (Tabel 54).  
Tabel 51. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )		
	Entisol	Litosol	Inseptisol
Kontrol	6.060 ± 0.251 a	23.723 ± 0.208 a	14.385 ± 0.102 a
S	10.878 ± 0.089 c	29.915 ± 0.065 d	24.415 ± 0.065 b
T	13.601 ± 0.017 h	30.625 ± 0.608 e	31.737 ± 0.259 f
J	14.153 ± 0.292 i	31.240 ± 0.122 f	32.695 ± 0.210 g
SA	13.025 ± 0.048 fg	28.353 ± 0.136 b	31.921 ± 0.034 f
SK	11.552 ± 0.181 de	28.723 ± 0.187 b	28.994 ± 0.109 c
TA	9.494 ± 0.064 b	29.210 ± 0.209 c	30.202 ± 0.629 d
TS	11.982 ± 0.177 e	32.882 ± 0.083 h	30.165 ± 0.009 d
JA	13.653 ± 0.203 hi	29.878 ± 0.904 d	30.423 ± 0.566 d
JK	12.660 ± 0.100 f	30.868 ± 0.086 e	32.570 ± 0.165 g
A	13.175 ± 0.065 gh	32.123 ± 0.127 g	30.586 ± 0.019 d
K	11.160 ± 0.099 cd	30.816 ± 0.031 e	31.146 ± 0.151 e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), menunjukkan bahwa kation basa terbaik pada Entisol dari perlakuan pupuk kandang ayam secara tunggal maupun yang dicampur biochar tongkol, yaitu sebesar 16,5 me 100 g<sup>-1</sup>. Kation basa tertinggi pada Litosol diperoleh dari pupuk kandang ayam yang dicampur dengan ketiga jenis biochar. Khususnya biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (pupuk kandang ayam ataupun kompos) menunjukkan kation basa yang juga tertinggi. Akan tetapi pada tanah Inseptisol, kation basa pada pupuk kandang ayam yang dicampur biochar jengkok terbaik pada inkubasi 98 hari (Tabel 55).

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar kation basa cenderung tetap (Litosol). Kadar kation basa cenderung naik dan turun dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya (Inseptisol). Kadar kation basa cenderung tetap sampai 56 hari sesudah itu meningkat khususnya pupuk kandang sampai 98 hari (Entisol).

### **Kadar Nitrogen**

DeLuca *et al.* (2009) menjelaskan secara umum biochar lebih penting untuk modifikasi tanah dan transformasi hara, serta kurang berarti sebagai sumber utama unsur hara. Biochar yang berasal bahan baku dari kotoran dan produk hewan relatif kaya unsur hara bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Kondisi pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisika-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan unsur hara dalam biochar setiap tanaman.

Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6 % ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400 sampai 800 °C (Bagreev *et al.*, 2001). Kadar nitrogen yang ada di dalam tanah bervariasi dengan perlakuan dan jenis tanah. Widowati *et al.* (2018) melaporkan bahwa jenis tanah maupun biochar+pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar N total pada berbagai umur pengamatan.

### **Inkubasi Hari 7**

Pada inkubasi 7 hari, perlakuan pupuk kandang ayam telah meningkatkan kadar N tanah Entisol 2 kali lebih tinggi dari 0,08% menjadi 0,19% sedangkan pada Litosol hampir 4 kali lebih tinggi dari 0,14% menjadi 0,51%. Kadar N dari perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang) meningkat hampir 2 kali lebih tinggi. Kandungan N dari pupuk kandang (4,05%) tertinggi selanjutnya diikuti kompos (2,6%) dan biochar jengkok (1,83%). Kenaikan kadar N tanah Entisol dan Litosol berlangsung selama 7 hari. Namun pada inkubasi yang sama belum terjadi kenaikan kadar N pada tanah Inseptisol dari semua perlakuan (Tabel 57). Kenaikan kadar N tanah Inseptisol terjadi pada 14 hari inkubasi dengan perlakuan kompos (Tabel 58).



Tabel 52. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g-1)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	6.045	± 0.369	a	24.613	± 0.593	a	14.386	± 0.142	a
S	15.333	± 1.078	f	30.907	± 0.486	c	22.572	± 0.725	f
T	13.823	± 0.863	e	32.168	± 0.600	ef	26.343	± 0.997	h
J	13.526	± 0.876	e	34.469	± 0.663	g	21.786	± 0.659	e
SA	11.789	± 0.973	c	34.487	± 0.238	g	24.127	± 1.730	g
SK	15.196	± 0.405	g	31.882	± 0.259	e	19.297	± 0.734	b
TA	16.919	± 0.701	h	34.552	± 1.156	g	21.049	± 0.226	d
TS	12.680	± 0.419	d	32.573	± 0.435	f	21.459	± 0.456	de
JA	11.949	± 0.394	c	34.243	± 0.405	g	27.326	± 1.141	i
JK	10.973	± 0.297	b	33.393	± 0.343	g	21.701	± 0.731	e
A	16.433	± 0.404	h	30.125	± 0.263	b	20.712	± 0.723	c
K	12.035	± 0.217	c	29.753	± 1.183	b	19.090	± 0.531	b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Tabel 53. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 7 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.079	± 0.002	a	0.136	± 0.012	a	0.103	± 0.006	a
S	0.094	± 0.006	ab	0.148	± 0.010	a	0.101	± 0.002	a
T	0.109	± 0.005	ab	0.215	± 0.014	ab	0.127	± 0.012	a
J	0.113	± 0.011	ab	0.254	± 0.018	b	0.124	± 0.003	a
SA	0.123	± 0.005	ab	0.200	± 0.011	ab	0.132	± 0.008	a
SK	0.102	± 0.002	ab	0.199	± 0.004	ab	0.129	± 0.010	a
TA	0.122	± 0.014	ab	0.217	± 0.008	ab	0.114	± 0.027	a
TS	0.105	± 0.010	ab	0.194	± 0.014	ab	0.132	± 0.002	a
JA	0.124	± 0.006	ab	0.251	± 0.016	b	0.118	± 0.011	a
JK	0.129	± 0.003	ab	0.229	± 0.022	b	0.130	± 0.020	a
A	0.185	± 0.011	b	0.513	± 0.298	c	0.136	± 0.026	a
K	0.124	± 0.008	ab	0.233	± 0.011	b	0.144	± 0.034	a

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 14

Pada inkubasi 14-28 hari, kadar N tanah Entisol dari perlakuan biochar jengkok meningkat 2 kali lebih tinggi. Pada inkubasi 14 hari, kadar N tanah Litosol pada perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur kompos hampir 2 kali lebih tinggi dari kontrol. Hal yang sama terjadi pada perlakuan biochar tongkol jagung pada Litosol dan Inseptisol. Khususnya Inseptisol, kadar N tertinggi dari pemberian kompos pada inkubasi 14 hari (Tabel 58). Hal ini menunjukkan kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik. Banyaknya N yang dikandung dalam biochar menentukan kemampuan tanah meningkatkan kadar N dalam tanah. Nitrogen merupakan unsur hara makro utama dalam bentuk amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak.

Tabel 54. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 14 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.073	± 0.000	a	0.118	± 0.007	a	0.093	± 0.000	a
S	0.117	± 0.021	b	0.124	± 0.006	a	0.135	± 0.000	b
T	0.115	± 0.013	b	0.224	± 0.013	d	0.206	± 0.003	d <sup>6</sup>
J	0.159	± 0.030	c	0.234	± 0.000	d	0.194	± 0.016	d
SA	0.121	± 0.018	b	0.170	± 0.011	b	0.126	± 0.004	b
SK	0.092	± 0.008	ab	0.180	± 0.004	b	0.113	± 0.007	ab
TA	0.095	± 0.012	ab	0.184	± 0.012	b <sup>9</sup>	0.162	± 0.023	c
TS	0.107	± 0.009	ab	0.173	± 0.010	b	0.115	± 0.004	ab
JA	0.112	± 0.007	b	0.194	± 0.024	bc	0.123	± 0.006	b
JK	0.126	± 0.022	b	0.248	± 0.047	d	0.117	± 0.005	ab
A	0.126	± 0.021	b	0.193	± 0.010	bc	0.217	± 0.005	de
K	0.101	± 0.026	ab	0.219	± 0.004	cd	0.245	± 0.029	e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 28

Hingga 28 hari inkubasi, kadar N tanah Litosol tertinggi pada biochar jengkok yang dicampur kompos selanjutnya diikuti dengan yang dicampur pupuk kandang maupun biochar tongkol. Kadar N tanah Inseptisol tertinggi pada perlakuan pupuk kandang yang dicampur biochar sekam maupun biochar jengkok. Hasil yang sama juga pada pemberian kompos (Tabel 59). Perlakuan campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah Litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 55. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 28 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.069	± 0.014	a	0.118	± 0.006	a	0.081	± 0.011	a
S	0.081	± 0.007	a	0.167	± 0.010	b	0.111	± 0.007	b
T	0.125	± 0.023	de	0.274	± 0.035	e	0.116	± 0.006	bc
J	0.140	± 0.005	e	0.241	± 0.006	d	0.112	± 0.000	b
SA	0.090	± 0.015	b	0.181	± 0.006	b	0.165	± 0.017	e
SK	0.107	± 0.010	b	0.202	± 0.007	c	0.113	± 0.006	b
TA	0.111	± 0.000	cd	0.207	± 0.004	c	0.132	± 0.007	cd
TS	0.110	± 0.008	cd	0.207	± 0.006	c	0.140	± 0.006	cde
JA	0.115	± 0.003	cd	0.270	± 0.019	e	0.156	± 0.015	e
JK	0.115	± 0.003	cd	0.315	± 0.004	f	0.150	± 0.007	de
A	0.115	± 0.001	cd	0.190	± 0.000	c	0.125	± 0.003	bc
K	0.106	± 0.004	b	0.194	± 0.000	c	0.160	± 0.009	e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 56

Pemberian biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik menunjukkan kadar N tanah Entisol tertinggi. Kemampuan biochar jengkok lebih lama dalam meningkatkan kadar N tanah Entisol, sejak inkubasi hari ke-14 hingga hari ke-56. Tidak demikian dengan peningkatan kadar N tanah Entisol dengan pupuk kandang ayam yang hanya terjadi pada inkubasi 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar N tanah Entisol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Namun kadar N tanah Litosol tertinggi pada pemberian pupuk kandang, selanjutnya diikuti oleh biochar jengkok maupun kompos. Kadar N tanah Inseptisol tertinggi dari perlakuan kompos yang diikuti oleh perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur pupuk kandang (Tabel 60). Peningkatan kadar N tanah Inseptisol lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya.

#### Hari 98

Pada akhir inkubasi (Tabel 61), kadar N tanah tertinggi pada biochar tongkok dicampur pupuk kandang (Entisol), biochar jengkok (Litosol), dan biochar jengkok dicampur pupuk kandang (Inseptisol). Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar N cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang yang melonjak turun pada 14 hari (Litosol). Kadar N meningkat pada 14 hari dan



cenderung tetap sampai 98 hari (Inseptisol). Kadar N cenderung tetap sampai 56 hari dan tetap ataupun meningkat pada 98 hari kecuali pupuk kandang yang melonjak turun dan biochar jengkok yang melonjak naik pada 14 hari (Entisol).

Tabel 56. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 56 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	0.069	± 0.014 a	0.118	± 0.006 a	0.081	± 0.011 a
S	0.085	± 0.005 b	0.116	± 0.005 a	0.135	± 0.005 cd
T	0.095	± 0.005 b	0.157	± 0.006 b	0.116	± 0.006 b
J	0.128	± 0.007 c	0.218	± 0.017 d	0.149	± 0.010 de
SA	0.092	± 0.007 b	0.162	± 0.007 bc	0.120	± 0.010 bc
SK	0.092	± 0.008 b	0.151	± 0.010 b	0.098	± 0.007 a
TA	0.096	± 0.005 b	0.200	± 0.010 d	0.110	± 0.009 a
TS	0.093	± 0.006 b	0.181	± 0.010 cd	0.097	± 0.006 a
JA	0.128	± 0.007 c	0.167	± 0.006 bc	0.151	± 0.012 de
JK	0.130	± 0.010 c	0.178	± 0.004 cd	0.120	± 0.009 bc
A	0.097	± 0.006 b	0.246	± 0.025 e	0.129	± 0.009 bc
K	0.090	± 0.010 b	0.209	± 0.012 d	0.168	± 0.007 e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\* Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Tabel 57. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 98 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	0.069	± 0.014 a	0.115	± 0.005 a	0.075	± 0.018 a
S	0.098	± 0.007 b	0.154	± 0.005 b	0.106	± 0.015 bc
T	0.097	± 0.006 b	0.196	± 0.005 cd	0.130	± 0.010 e
J	0.099	± 0.002 b	0.260	± 0.010 g	0.124	± 0.005 de
SA	0.096	± 0.005 b	0.179	± 0.009 c	0.140	± 0.010 e
SK	0.130	± 0.010 c	0.194	± 0.007 cd	0.101	± 0.010 bc
TA	0.150	± 0.010 d	0.203	± 0.015 de	0.116	± 0.005 cd
TS	0.096	± 0.005 b	0.190	± 0.010 cd	0.092	± 0.012 b
JA	0.097	± 0.006 b	0.227	± 0.015 f	0.160	± 0.010 f
JK	0.093	± 0.011 b	0.209	± 0.010 de	0.097	± 0.015 b
A	0.082	± 0.014 ab	0.216	± 0.015 ef	0.108	± 0.008 bc
K	0.088	± 0.011 ab	0.212	± 0.007 ef	0.116	± 0.005 cd

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$



### **Kadar Phosfor**

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan unsur hara, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Uji lanjut dengan DMRT kadar P disajikan pada Tabel 63-67.

### **Hari 7**

Inkubasi hari ke-7 menunjukkan bahwa kadar P tanah meningkat dengan semua perlakuan pada ketiga jenis tanah. Pemberian pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan kadar P tanah Entisol dan Inseptisol, sedangkan pada Litosol pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam. Peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (Entisol) dan 23,3 kali lipat (Inseptisol). Berbeda pada Litosol, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol). Kadar P tanah meningkat dengan campuran pupuk kandang ayam dan biochar berbagai jenis (Tabel 44). Peningkatan kadar P tanah Entisol sebesar 2 kali lebih tinggi dari 25,03 mg kg<sup>-1</sup> (biochar sekam) menjadi 51,38 mg kg<sup>-1</sup> (biochar sekam+pupuk kandang) serta 1,6 kali lipat lebih tinggi dari 28,77 (biochar tongkol) menjadi 46,09 mg kg<sup>-1</sup> (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah Litosol sebesar 2,5 kali lebih tinggi dari 22,64 mg kg<sup>-1</sup> (biochar sekam) menjadi 57,53 mg kg<sup>-1</sup> (biochar sekam+pupuk kandang) serta 2,3 kali lebih tinggi dari 28,02 (biochar tongkol) menjadi 63,25 mg kg<sup>-1</sup> (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah Inseptisol sebesar 3,7 kali lebih tinggi dari 1,92 mg kg<sup>-1</sup> (biochar sekam) menjadi 7,12 mg kg<sup>-1</sup> (biochar sekam+pupuk kandang); 1,3 kali lebih tinggi dari 8,32 mg kg<sup>-1</sup> (biochar tongkol) menjadi 10,88 mg kg<sup>-1</sup> (biochar tongkol+pupuk kandang); dan 5,4 kali lebih tinggi dari 3,79 mg kg<sup>-1</sup> (biochar jengkok) menjadi 20,40 mg kg<sup>-1</sup> (biochar jengkok+pupuk kandang). Pupuk kandang ayam mengandung P sebesar 11,62% yang tertinggi dibanding perlakuan lainnya. Selanjutnya kompos mengandung P sebesar 3,87% dan biochar sekam mengandung P sebesar 0,14%. Biochar tongkol dan biochar jengkok mengandung P yang kurang lebih sama, yaitu 0,44-0,46%.

### **Hari 14**

Sampai hari ke-14, kadar P masing-masing tanah meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik (Tabel 45). Peningkatan tertinggi dengan pemberian pupuk kandang sebesar 15,5 kali lipat (Entisol); 14 kali lipat (Litosol); dan

76,6 kali lipat (Inseptisol) dibanding kontrol. Campuran biochar dan pupuk kandang menghasilkan kadar P yang lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar pada Entisol dan Litosol. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada Entisol meningkat 2,4 kali (sekam); 1,4 kali (tongkol); dan 1,3 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada Litosol meningkat 2,5 kali (sekam); 1,3 kali (tongkol); dan 1,5 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Pada tanah Inseptisol campuran biochar sekam dan pupuk kandang tidak lebih baik daripada biochar sekam maupun pupuk kandang yang tidak dicampur. Namun demikian campuran biochar (tongkol maupun jengkok) dan pupuk kandang masih lebih tinggi daripada hanya menggunakan biocharnya. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada Inseptisol meningkat 1,7 kali (tongkol) dan 1,1 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Ketiga jenis tanah menunjukkan kadar P tertinggi pada perlakuan pupuk kandang.

Tabel 58. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 7 hari (mg 1000 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	4.514	± 0.073 a	7.992	± 0.702 a	1.604	± 0.063 a
S	25.034	± 2.281 b	22.640	± 0.749 b	1.916	± 0.381 a
T	28.769	± 1.518 b	28.017	± 6.111 bc	8.312	± 2.258 ab
J	36.584	± 1.907 bc	45.788	± 2.232 de	3.792	± 0.000 ab
SA	51.378	± 4.402 de	57.526	± 5.901 ef	7.120	± 1.412 ab
SK	26.115	± 1.562 b	40.870	± 0.000 cd	3.912	± 1.680 ab
TA	46.090	± 8.729 cd	63.249	± 7.317 f	10.878	± 3.157 ab
TS	26.365	± 0.754 b	26.731	± 0.000 bc	3.840	± 0.763 ab
JA	33.415	± 1.460 bc	51.871	± 6.941 de	20.403	± 1.305 bc
JK	31.340	± 9.450 b	44.948	± 3.834 de	3.739	± 0.769 a
A	61.375	± 4.434 e	54.592	± 1.130 ef	37.316	± 3.134 c
K	32.188	± 2.954 b	25.047	± 2.393 b	8.564	± 2.168 ab

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Tabel 59. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 14 hari (mg 1000 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	4.514 ± 0.073	a	7.992 ± 0.702	a	1.604 ± 0.063	a
S	24.449 ± 0.231	c	29.080 ± 0.110	d	15.450 ± 0.563	e
T	25.503 ± 0.542	c	46.590 ± 0.401	f	25.594 ± 0.570	h
J	30.660 ± 0.303	d	35.160 ± 0.470	d	21.450 ± 0.489	f
SA	58.447 ± 0.480	h	71.683 ± 0.710	j	10.661 ± 0.364	d
SK	55.050 ± 0.862	g	26.260 ± 0.765	c	4.633 ± 0.150	c
TA	34.853 ± 0.366	e	61.873 ± 0.987	i	42.583 ± 0.355	i
TS	21.397 ± 0.532	b	23.760 ± 0.800	b	3.742 ± 0.025	b
JA	40.889 ± 0.153	f	51.763 ± 0.845	g	24.117 ± 0.000	g
JK	24.743 ± 0.451	c	55.250 ± 0.770	h	3.031 ± 0.013	b
A	69.763 ± 0.225	i	111.693 ± 1.900	k	122.567 ± 0.531	j
K	24.058 ± 0.800	c	41.580 ± 0.000	e	30.349 ± 0.169	h

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 28

Perlakuan pupuk kandang ayam menghasilkan kadar P tertinggi pada Entisol dan Litosol sampai 28 hari inkubasi. Akan tetapi perlakuan campuran biochar sekam dan pupuk kandang pada tanah Inseptisol menunjukkan kadar P terbaik. Secara umum kadar P dari campuran biochar dan pupuk kandang masih lebih baik daripada perlakuan biochar secara tunggal (Tabel 65).

Tabel 60. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 28 hari (mg 1000 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	4.514 ± 0.073	a	7.992 ± 0.702	a	1.604 ± 0.063	a
S	28.993 ± 0.317	e	28.993 ± 0.317	e	6.161 ± 0.060	c
T	33.423 ± 0.561	g	33.423 ± 0.561	g	7.549 ± 0.021	d
J	29.113 ± 0.101	ef	29.113 ± 0.101	ef	9.110 ± 0.017	e
SA	27.711 ± 0.176	d	27.711 ± 0.176	d	71.679 ± 0.361	k
SK	25.675 ± 0.655	c	25.675 ± 0.655	c	4.464 ± 0.264	b
TA	40.501 ± 0.513	h	40.501 ± 0.513	h	12.178 ± 0.056	g
TS	24.377 ± 0.556	b	24.377 ± 0.556	b	9.090 ± 0.042	e
JA	40.890 ± 0.184	h	40.890 ± 0.184	h	25.620 ± 0.650	j
JK	24.737 ± 0.770	bc	24.737 ± 0.770	bc	16.630 ± 0.222	h
A	84.165 ± 0.804	i	84.165 ± 0.804	i	21.700 ± 0.276	i
K	30.140 ± 1.253	f	30.140 ± 1.253	f	12.145 ± 0.018	g

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 56

Kadar P tanah pada inkubasi hari ke-14 tidak berbeda dengan hari ke-56, yaitu perlakuan pupuk kandang terbaik pada ketiga jenis tanah. Kadar P tanah juga lebih baik dari perlakuan campuran biochar dan pupuk kandang daripada perlakuan biochar tunggal (Tabel 66).

### Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), kadar P tanah Entisol terbaik pada perlakuan biochar sekam padi, sedangkan Litosol terbaik pada perlakuan campuran biochar jengkok dan pupuk kandang. Khususnya pupuk kandang, kadar P tanah Inseptisol masih terbaik sejak 56 hingga 98 hari inkubasi (Tabel 67).

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar P cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang dan kompos yang melonjak turun kemudian naik pada inkubasi 14 hari (Litosol). Kadar P meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (Inseptisol). Kadar P cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan ataupun penurunan pada 98 hari (Entisol).

Tabel 61. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 56 hari (mg 1000 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	4.514	± 0.073 a	7.992	± 0.702 a	1.604	± 0.063 a
S	10.737	± 0.046 d	11.402	± 0.187 b	10.737	± 0.046 d
T	12.908	± 0.016 fg	19.149	± 0.026 f	12.908	± 0.016 e
J	13.289	± 0.022 h	25.716	± 0.107 h	13.289	± 0.022 f
SA	14.703	± 0.136 i	23.729	± 0.170 g	14.703	± 0.136 g
SK	8.684	± 0.259 c	14.969	± 0.040 d	8.684	± 0.259 c
TA	10.607	± 0.177 d	36.852	± 0.083 h	10.607	± 0.177 d
TS	13.083	± 0.006 gh	12.184	± 0.029 c	13.083	± 0.006 ef
JA	20.907	± 0.059 j	86.935	± 0.065 j	20.907	± 0.059 h
JK	6.037	± 0.055 b	17.689	± 0.106 e	6.037	± 0.055 b
A	25.878	± 0.025 k	97.141	± 0.150 k	25.878	± 0.025 i
K	11.673	± 0.025 e	52.847	± 0.061 i	11.673	± 0.025 e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$



Tabel 62. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 98 hari (mg 1000 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	4.514 ± 0.073	a	3.805 ± 0.028	a	1.604 ± 0.063	a
S	76.482 ± 1.351	i	11.362 ± 0.052	b	5.313 ± 0.170	c
T	39.626 ± 0.701	g	22.363 ± 0.061	e	14.653 ± 0.323	g
J	15.197 ± 0.876	c	41.828 ± 0.037	g	7.357 ± 0.160	d
SA	15.372 ± 0.502	c	45.871 ± 0.110	h	22.688 ± 0.806	i
SK	40.027 ± 1.101	g	21.736 ± 0.229	de	3.200 ± 0.281	b <sub>3</sub>
TA	22.427 ± 0.639	d	40.183 ± 0.087	g	9.036 ± 0.067	e
TS	25.513 ± 1.600	f	15.237 ± 0.253	c	12.032 ± 0.075	f
JA	24.103 ± 1.154	e	80.162 ± 0.120	j	22.330 ± 0.452	h
JK	46.607 ± 0.500	h	20.537 ± 0.101	d	5.587 ± 0.282	c
A	13.502 ± 0.610	b	67.518 ± 0.063	i	28.202 ± 0.948	j
K	13.495 ± 0.539	b	25.579 ± 0.130	f	13.043 ± 0.124	f

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

## Kadar Kalium

### Hari 7

Setiap jenis biochar mengandung kalium yang berbeda jumlahnya. Kadar K biochar sekam < biochar tongkol < biochar jengkok. Biochar memiliki kadar kalium yang lebih tinggi daripada pupuk organik. Kadar K dari pupuk kandang ayam > kompos. Inkubasi selama 7 hari telah menunjukkan perubahan kadar K dalam tanah penelitian. Pada awal penelitian ketiga jenis tanah memiliki kadar K sebesar 0,34-0,36 me/100g. Semua perlakuan meningkatkan kadar K. Perlakuan kompos menghasilkan kadar K tertinggi pada Entisol dan Inseptisol, namun pada Litosol pada perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar K pada kompos paling rendah sedangkan biochar jengkok paling tinggi dibandingkan biochar maupun pupuk kandang ayam. Oleh karenanya pemberian kompos hanya menunjukkan kadar K tertinggi di awal inkubasi. Ketiga jenis biochar mengandung kalium yang berbeda tetapi menunjukkan kadar K yang sama pada tanah Inseptisol saat inkubasi 7 hari. Hal ini berbeda dengan dua jenis tanah lainnya, kadar K dalam tanah Entisol dan Litosol sebanding dengan banyaknya K dalam biochar. Selanjutnya kadar K bervariasi dengan jenis tanah dan pemberian biochar-pupuk organik.

Tabel 63. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g-1)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.302	± 0.063	a <sub>3</sub>	0.367	± 0.006	a <sub>3</sub>	0.250	± 0.010	a
S	0.900	± 0.033	b	1.279	± 0.063	b	0.880	± 0.016	b
T	1.631	± 0.084	cd	2.204	± 0.616	cd	0.719	± 0.065	b
J	1.852	± 0.068	d	3.082	± 0.055	f	0.935	± 0.068	b
SA	1.342	± 0.052	c	1.901	± 0.134	c	0.976	± 0.006	bc
SK	0.927	± 0.137	b	1.856	± 0.127	c	1.044	± 0.129	bc
TA	1.476	± 0.167	cd	2.398	± 0.033	d	1.782	± 0.015	d
TS	1.871	± 0.459	d	2.780	± 0.166	ef	1.832	± 0.104	d
JA	1.647	± 0.136	cd	2.929	± 0.208	f	1.948	± 0.467	d
JK	1.740	± 0.135	cd	2.414	± 0.385	de	1.798	± 0.046	d
A	1.892	± 0.267	d	2.395	± 0.347	de	1.335	± 0.309	c
K	2.490	± 0.489	e	2.790	± 0.234	ef	2.483	± 0.245	e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 14

Kadar K ketiga jenis tanah meningkat dengan aplikasi biochar-pupuk organik. Biochar jengkok menunjukkan kadar K tertinggi pada Entisol mulai 14 hingga 56. Biochar tongkol yang dicampur kotoran ayam merupakan perlakuan tertinggi pada tanah Inseptisol pada inkubasi 14 hari. Pada Litosol terdapat empat perlakuan yang menghasilkan kadar K yang sama, yaitu aplikasi biochar tongkol tunggal maupun yang dicampur pupuk organik, biochar jengkok yang dicampur kotoran ayam. Pada inkubasi 14 hari, pemberian campuran biochar dan pupuk organik cenderung memberikan kadar K yang lebih banyak daripada pemberian secara tunggal pada ketiga jenis tanah.

Tabel 64. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	0.302	± 0.063 a	0.367	± 0.006 a	0.250	± 0.010 a
S	0.730	± 0.015 d	0.928	± 0.024 c	0.604	± 0.008 b
T	0.577	± 0.014 b	1.851	± 0.046 i	1.270	± 0.044 e
J	1.859	± 0.062 j	1.250	± 0.032 f	1.078	± 0.015 d
SA	0.974	± 0.018 e	0.746	± 0.005 b	0.758	± 0.019 c
SK	0.664	± 0.004 c	1.683	± 0.007 h	0.977	± 0.015 d
TA	1.606	± 0.004 h	1.869	± 0.024 i	1.501	± 0.098 h
TS	1.120	± 0.118 f	1.856	± 0.054 i	1.453	± 0.071 g
JA	1.643	± 0.006 i	1.853	± 0.036 i	1.352	± 0.029 f
JK	1.078	± 0.043 f	1.175	± 0.010 e	1.034	± 0.135 j
A	0.989	± 0.009 e	1.466	± 0.015 g	1.258	± 0.010 e
K	1.599	± 0.017 g	1.035	± 0.013 d	1.951	± 0.030 i

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 28

Pada 28 hari inkubasi, kadar K terbaik dari biochar tongkol yang tidak berbeda dengan biochar jengkok pada Entisol. Pada Litosol, perlakuan biochar tongkol juga menunjukkan kadar K tertinggi, tetapi berbeda pada tanah Inseptisol. Tanah Inseptisol menunjukkan kadar K tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam.

Tabel 65. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g-1)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	0.302 ± 0.063	a	0.367 ± 0.006	a	0.250 ± 0.010	a
S	0.828 ± 0.102	c	0.931 ± 0.047	b	0.672 ± 0.066	b
T	1.279 ± 0.233	e	2.010 ± 0.010	g	0.773 ± 0.099	bc
J	1.264 ± 0.177	e	1.463 ± 0.238	ef	0.882 ± 0.042	cd
SA	0.663 ± 0.047	b	0.958 ± 0.059	b	1.153 ± 0.011	ef
SK	0.838 ± 0.020	c	1.132 ± 0.032	bc	0.679 ± 0.114	b
TA	1.061 ± 0.030	d	1.494 ± 0.096	ef	0.950 ± 0.046	d
TS	0.925 ± 0.085	cd	1.336 ± 0.108	de	1.030 ± 0.043	de
JA	1.060 ± 0.034	d	1.251 ± 0.028	cd	1.092 ± 0.082	de
JK	1.050 ± 0.030	d	1.673 ± 0.055	f	1.165 ± 0.018	ef
A	1.065 ± 0.035	d	1.215 ± 0.016	cd	1.325 ± 0.051	g
K	1.123 ± 0.010	de	1.114 ± 0.006	bc	1.241 ± 0.033	fg

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 56

Seperti inkubasi sebelumnya, biochar jengkok menghasilkan kadar K tertinggi. Kadar K tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dicampur pupuk kandang ayam (Litosol) serta pupuk kandang ayam (Inseptisol).

Tabel 66. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g-1)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	0.302 ± 0.063	a	0.367 ± 0.006	a	0.250 ± 0.010	a
S	0.769 ± 0.036	b	0.910 ± 0.011	b	0.635 ± 0.015	c
T	1.328 ± 0.010	i	1.487 ± 0.021	g	0.757 ± 0.004	d
J	1.540 ± 0.053	j	1.672 ± 0.012	i	0.984 ± 0.014	h
SA	0.975 ± 0.031	c	0.968 ± 0.040	b	0.655 ± 0.031	c
SK	1.035 ± 0.022	d	0.955 ± 0.022	b	0.544 ± 0.041	b
TA	1.161 ± 0.036	e	1.759 ± 0.011	j	0.915 ± 0.015	f
TS	1.076 ± 0.026	d	1.159 ± 0.036	d	0.774 ± 0.015	e
JA	1.288 ± 0.024	h	1.370 ± 0.045	f	0.954 ± 0.025	g
JK	1.177 ± 0.024	f	1.083 ± 0.031	c	0.913 ± 0.012	f
A	1.022 ± 0.070	d	1.585 ± 0.017	h	1.075 ± 0.023	i
K	1.225 ± 0.071	g	1.290 ± 0.018	e	0.954 ± 0.012	g

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$



### Hari 98

Pada akhir pengamatan (98 hari), aplikasi biochar dan pupuk organik masih meningkatkan kadar K dalam tanah. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K tertinggi pada Entisol dan Litosol. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K terbanyak pada tanah Inseptisol. Secara umum kadar K memiliki kecenderungan menurun dari awal hingga akhir pengamatan.

### Kadar Calsium

Kadar abu dari biochar sekam > biochar jengkok > biochar tongkol. Kadar abu dari biochar termasuk konstituen anorganik (kalsium, magnesium dan karbon anorganik) setelah semua unsur organik (karbon, hidrogen dan nitrogen) diuapkan (Joseph *et al.*, 2009). Sumber bahan baku dan kondisi pirolisis telah terbukti mempengaruhi kadar abu anorganik dari biochar, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi akhir potensi penggunaan (Kookana *et al.*, 2011).

Tabel 67. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g-1)					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	0.302	± 0.063 b	0.018	± 0.007 a	0.251	± 0.037 a
S	0.915	± 0.063 f	0.183	± 0.006 b	0.433	± 0.021 b
T	0.984	± 0.014 f	1.309	± 0.027 g	0.770	± 0.053 d
J	0.880	± 0.030 e	1.346	± 0.035 h	0.846	± 0.057 e
SA	0.794	± 0.031 d	0.966	± 0.051 d	0.618	± 0.025 c
SK	1.153	± 0.045 g	1.049	± 0.053 ef	0.439	± 0.052 b
TA	1.223	± 0.070 h	1.463	± 0.042 i	0.629	± 0.055 c
TS	0.936	± 0.077 f	1.099	± 0.074 ef	0.754	± 0.025 d
JA	1.001	± 0.008 f	1.151	± 0.086 f	1.031	± 0.065 f
JK	0.822	± 0.043 e	1.020	± 0.010 de	0.641	± 0.056 c
A	0.254	± 0.060 a	0.727	± 0.071 c	0.733	± 0.050 d
K	0.608	± 0.085 c	1.185	± 0.125 f	0.707	± 0.080 d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 7

Inkubasi 7 hari telah menunjukkan bahwa pemberian biochar dan pupuk organik menaikkan kadar Ca pada tanah Entisol dan Litosol. Semua perlakuan menunjukkan kenaikan kadar Ca yang sama pada tanah Entisol, sebesar 78% dari 5,14% menjadi 9,14%. Kenaikan kadar Ca pada Litosol dan Inseptisol bervariasi tidak seperti pada Entisol saat 7 hari inkubasi. Aplikasi kompos meningkatkan kadar Ca tertinggi pada

Litosol. Pada tanah Inseptisol, kenaikan kadar Ca yang sama dari perlakuan biochar sekam maupun jengkok yang dikombinasi pupuk organik, biochar tongkol yang dicampur kompos, serta pupuk kandang ayam. Pemberian kompos pada tanah Inseptisol belum meningkatkan kadar Ca pada inkubasi 7 hari.

Tabel 68. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	5.140	± 0.165	a	22.367	± 0.115	a	12.236	± 0.191	a
S	9.451	± 0.001	b	26.519	± 1.354	b	14.098	± 1.312	ab
T	8.885	± 0.473	b	27.560	± 1.202	bc	14.154	± 3.593	ab
J	8.311	± 0.229	b	29.040	± 0.036	cd	15.830	± 1.584	bc
SA	8.379	± 1.731	b	28.843	± 1.730	bc	16.790	± 1.235	c
SK	9.523	± 0.969	b	26.067	± 0.291	b	16.735	± 0.631	c
TA	9.047	± 1.372	b	24.620	± 2.996	ab	13.895	± 0.946	ab
TS	10.020	± 2.209	b	23.803	± 0.452	ab	17.348	± 2.490	c
JA	8.539	± 1.103	b	29.617	± 1.605	cd	15.606	± 0.693	c
JK	10.335	± 0.612	b	30.935	± 0.909	cd	16.312	± 1.025	c
A	9.614	± 0.000	b	29.090	± 0.658	cd	15.171	± 3.047	c
K	8.386	± 0.153	b	31.987	± 2.354	d	12.538	± 1.913	a

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 14

Setelah 14 hari inkubasi, biochar dan pupuk organik menunjukkan variasi kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca di ketiga jenis tanah. Kenaikan kadar Ca sebesar 111% (Entisol); 34% (Litosol); dan 55% (Inseptisol) pada 14 hari inkubasi. Kadar Ca dari Litosol (25,83 me/100g) >Inseptisol (12,44 me/100 g) >Entisol (5,14 me/100g). Peningkatan kadar Ca tertinggi dari aplikasi biochar jengkok pada tanah dengan kadar Ca yang terendah. Meskipun kenaikan tertinggi pada Entisol dari perlakuan pupuk kandang ayam (131%) dan pada tanah Litosol dari perlakuan kombinasi biochar jengkok dan kompos (48%). Aplikasi kombinasi biochar sekam dan pupuk organik menunjukkan kadar Ca yang lebih tinggi daripada hanya menambahkan biochar sekam pada ketiga jenis tanah. Hal ini karena pupuk organik (pupuk kandang ayam dan kompos) memiliki kadar Ca yang lebih tinggi daripada biochar sekam.

Tabel 69. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	5.140	± 0.165	a	22.767	± 0.153	s	13.464	± 0.027	a
S	8.506	± 0.300	c	23.700	± 0.100	b	15.313	± 0.199	c
T	9.865	± 0.200	de	26.867	± 0.651	d	14.873	± 0.695	b
J	10.828	± 0.148	f	30.467	± 0.651	g	20.913	± 0.160	h
SA	9.547	± 0.105	de	27.567	± 0.058	e	17.254	± 0.547	e
SK	10.043	± 0.252	ef	24.537	± 0.557	c	18.507	± 0.460	f
TA	7.511	± 0.230	b	26.533	± 0.448	d	16.234	± 0.051	d
TS	9.700	± 0.031	d	28.717	± 0.289	f	14.644	± 0.551	b
JA	9.438	± 0.115	d	30.000	± 0.265	g	14.451	± 0.493	b
JK	10.679	± 0.372	ef	33.687	± 0.824	h	18.232	± 0.122	f
A	11.880	± 0.151	g	29.073	± 0.239	f	19.131	± 0.069	g
K	9.369	± 0.241	d	27.797	± 0.150	e	18.799	± 0.188	f

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 28

Pada inkubasi 28 hari, kadar Ca tertinggi pada Entisol diperoleh dari perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar Ca tertinggi pada Litosol dari perlakuan pupuk kandang ayam kemudian diikuti campuran biochar jengkok dan pupuk kandang ayam serta kompos. Kadar Ca tertinggi pada tanah Inseptisol dari perlakuan biochar tongkol dan kompos (Tabel 71).

Tabel 70. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g-1)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	5.140	± 0.165	a <sub>3</sub>	22.833	± 0.306	a	13.493	± 0.050	a
S	8.704	± 0.191	ef	26.430	± 0.185	d	22.767	± 0.306	ef
T	7.612	± 0.290	cd	26.867	± 0.136	d	22.800	± 0.300	f
J	10.230	± 0.010	g	29.537	± 0.609	f	22.923	± 0.194	f
SA	6.823	± 0.045	b	28.457	± 0.260	e	19.900	± 0.346	c
SK	8.210	± 0.066	de	23.333	± 0.153	b	19.633	± 0.961	c
TA	8.262	± 0.060	de	30.420	± 0.079	f	22.133	± 0.681	e
TS	8.513	± 0.084	ef	28.480	± 0.200	e	24.223	± 0.561	g
JA	10.507	± 0.095	g	31.667	± 0.416	g	21.000	± 0.624	d
JK	7.646	± 0.222	cd	24.477	± 0.473	c	22.833	± 0.252	f
A	8.924	± 0.079	f	32.612	± 0.586	h	19.600	± 0.624	c
K	7.467	± 0.306	c	31.147	± 0.060	g	18.863	± 0.679	b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 56

Sampai inkubasi 56 hari, semua perlakuan masih meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Biochar jengkok memberikan kenaikan kadar Ca tertinggi pada Entisol dan Inseptisol. Khususnya tanah Inseptisol, kadar Ca dari perlakuan biochar jengkok tidak berbeda dengan perlakuan biochar tongkol. Tidak demikian pada Litosol, kadar Ca tertinggi dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam (Tabel 72).



Tabel 71. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )					
	Entisol		Litosol		Inseptisol	
Kontrol	5.140 ± 0.165	a	22.733 ± 0.208	b	13.493 ± 0.050	a
S	8.053 ± 0.051	d	23.700 ± 0.100	c	26.100 ± 0.100	ef
T	9.447 ± 0.055	ef	19.177 ± 0.174	a	28.200 ± 0.265	g
J	9.723 ± 0.176	f	27.433 ± 0.116	f	28.100 ± 0.200	g
SA	7.677 ± 0.080	cd	24.673 ± 0.140	d	18.479 ± 0.028	b
SK	7.923 ± 0.081	cd	24.870 ± 0.139	d	19.700 ± 0.100	c
TA	5.380 ± 0.040	a	24.730 ± 0.204	d	24.933 ± 0.635	d
TS	7.543 ± 0.208	c	28.723 ± 0.049	h	26.321 ± 0.022	f
JA	9.330 ± 0.164	e	29.533 ± 0.058	i	25.878 ± 0.554	e
JK	7.180 ± 0.056	b	26.710 ± 0.061	e	24.870 ± 0.161	d
A	9.247 ± 0.067	e	28.317 ± 0.090	g	26.403 ± 0.025	f
K	7.063 ± 0.047	b	27.170 ± 0.044	f	26.533 ± 0.154	f

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 98

Inkubasi 98 hari, kadar Ca tertinggi pada Entisol dari perlakuan pupuk kandang ayam. Pemberian biochar jengkok, campuran biochar sekam dan pupuk kandang, serta campuran biochar jengkok dan kompos memberikan kadar Ca yang sama pada Litosol. Kadar Ca tertinggi pada tanah Inseptisol dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang.

Tabel 72. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )		
	Entisol	Litosol	Inseptisol
Kontrol	5.100 ± 0.400 a	22.333 ± 0.503 a	13.493 ± 0.050 b
S	9.056 ± 1.272 b	29.473 ± 0.444 cd	18.788 ± 0.619 e
T	10.967 ± 0.907 d	29.403 ± 0.613 cd	19.093 ± 1.053 e
J	10.272 ± 0.842 cd	31.267 ± 0.666 e	16.469 ± 0.667 d
SA	10.092 ± 0.901 cd	31.060 ± 0.131 e	16.524 ± 1.515 d
SK	12.944 ± 0.404 e	28.970 ± 0.130 c	12.445 ± 0.599 a
TA	12.526 ± 0.613 e	30.970 ± 0.966 de	14.414 ± 0.632 c
TS	9.284 ± 0.377 bc	29.817 ± 0.511 cd	15.541 ± 0.707 cd
JA	8.875 ± 0.238 bc	30.620 ± 0.338 de	23.389 ± 1.354 f
JK	8.287 ± 0.401 b	31.133 ± 0.321 e	16.512 ± 0.571 d
A	16.470 ± 0.894 f	28.000 ± 0.964 c	16.604 ± 0.433 d
K	8.312 ± 0.376 b	26.150 ± 1.143 b	15.961 ± 0.404 d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar Ca cenderung tetap (Litosol), meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (Inseptisol), dan cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan sampai 98 hari (Entisol).

### Kadar Magnesium

Tanah yang digunakan pada penelitian ini mengandung magnesium (Mg) yang berbeda. Sebelum perlakuan diberikan (awal penelitian), kadar Mg pada tanah Inseptisol > Litosol > Entisol. Kadar Mg dalam biochar jengkok > biochar tongkol > biochar sekam. Sedangkan kadar Mg dari kompos > pupuk kandang ayam. Unsur Ca dan Mg biasa dikaitkan dengan kemasaman tanah. Kemasaman tanah sebelum penelitian (pH H<sub>2</sub>O) dari Litosol, Entisol, dan Inseptisol masing-masing sebesar 6,4; 5,7; dan 5,3. Setelah aplikasi biochar dan pupuk organik terjadi perubahan nilai pH mulai 7 – 98 hari. Pada 7 hari inkubasi, pH tanah meningkat berkisar 6,2 – 6,4 (Entisol); 6,8 – 7,2 (Litosol); dan 6,0 – 6,4 (Inseptisol).

Magnesium merupakan unsur yang terlibat pada reaksi enzimatik dan unsur pembentuk klorofil. Magnesium penting untuk banyak fungsi tanaman, seperti fotosintesis (Mg adalah elemen sentral klorofil), aktivasi enzim, sintesis gula, kontrol serapan hara, dan banyak lainnya.

### Hari 7

Pemberian biochar dan pupuk organik meningkatkan kadar Mg di ketiga jenis tanah pada inkubasi 7 hari. Perlakuan biochar tongkol dan pupuk kandang ayam memberikan kadar Mg tertinggi pada ketiga jenis tanah. Khususnya tanah Inseptisol perlakuan terbaik juga dari aplikasi biochar tongkol yang dicampur kompos.

Tabel 73. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.584	± 0.340	a	0.210	± 0.020	a	0.274	± 0.030	a
S	2.697	± 0.944	b	3.393	± 0.593	e	4.020	± 0.348	cd
T	2.814	± 0.144	b	1.593	± 0.323	bcd	4.313	± 0.557	cde
J	4.678	± 0.400	cd	1.037	± 0.197	ab	6.978	± 0.638	f
SA	4.403	± 0.434	cd	1.293	± 0.051	abc	3.287	± 0.403	cd
SK	2.756	± 0.491	b	1.570	± 0.266	bcd	5.122	± 0.314	d
TA	5.103	± 0.562	d	5.176	± 0.586	f	8.500	± 1.690	g
TS	4.281	± 0.860	cd	3.222	± 0.663	e	8.424	± 2.384	g
JA	4.204	± 1.158	cd	2.443	± 0.499	cde	7.048	± 0.875	f
JK	2.914	± 0.837	b	1.360	± 0.460	abc	3.014	± 0.632	c
A	2.477	± 0.161	cd	2.653	± 0.238	de	2.644	± 1.588	b
K	3.231	± 0.225	bc	0.685	± 0.249	ab	5.570	± 0.976	e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

### Hari 14

Kadar Mg pada inkubasi hari ke-14 menunjukkan bahwa setiap perlakuan memberikan kadar Mg yang berbeda pada ketiga jenis tanah. Perlakuan terbaik pada Entisol diperoleh dari aplikasi biochar jengkok yang tidak berbeda dengan pemberian kompos. Perlakuan terbaik pada Litosol diperoleh dari aplikasi biochar tongkol yang tidak berbeda dengan aplikasi biochar sekam yang dicampur kompos. Perlakuan terbaik pada Inseptisol diperoleh dari aplikasi biochar sekam yang dicampur pupuk kandang. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 75.

Tabel 74. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g-1)		
	Entisol	Litosol	Inseptisol
Kontrol	0.340 ± 0.017 a	0.210 ± 0.020 a	0.274 ± 0.030 a
S	0.745 ± 0.056 b	2.252 ± 0.043 e	6.177 ± 0.272 d
T	1.316 ± 0.179 c	3.029 ± 0.024 f	5.667 ± 0.551 c
J	2.321 ± 0.079 d	0.834 ± 0.200 b	6.367 ± 0.379 de
SA	0.338 ± 0.065 a	1.081 ± 0.027 bc	8.433 ± 0.709 g
SK	0.790 ± 0.200 b	3.399 ± 0.349 f	2.023 ± 0.006 b
TA	1.450 ± 0.128 c	1.822 ± 0.169 d	7.733 ± 0.404 f
TS	0.156 ± 0.000 a	0.727 ± 0.038 b	7.633 ± 0.252 f
JA	0.293 ± 0.030 a	1.870 ± 0.032 d	6.600 ± 0.173 e
JK	1.078 ± 0.068 bc	1.437 ± 0.108 c	6.433 ± 0.252 de
A	0.877 ± 0.033 b	0.805 ± 0.020 b	6.333 ± 0.115 de
K	2.120 ± 0.102 d	1.424 ± 0.096 c	6.667 ± 0.379 e

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 28

Sampai inkubasi hari ke-28, pemberian biochar dan pupuk organik memberikan peningkatan kadar Ca yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Perlakuan kompos merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg pada Entisol dan Litosol. Khususnya Litosol, perlakuan kompos tidak berbeda dengan perlakuan biochar sekam yang dicampur kompos. Sedangkan pada tanah Inseptisol, perlakuan pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 76.



Tabel 75. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g <sup>-1</sup> )								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.340	± 0.017	a <sup>g</sup>	0.210	± 0.020	a	0.274	± 0.030	a
S	0.569	± 0.079	ab	0.603	± 0.065	b <sup>g</sup>	3.177	± 0.022	f
T	2.616	± 0.195	e	1.200	± 0.012	c	1.719	± 0.040	cd
J	1.257	± 0.025	c	1.611	± 0.081	d	0.910	± 0.103	b
SA	1.586	± 0.055	cd	0.667	± 0.065	b	4.306	± 0.105	g
SK	0.858	± 0.105	b	2.627	± 0.081	e	1.533	± 0.666	cd
TA	1.484	± 0.030	cd	0.824	± 0.073	bc	1.433	± 0.306	c
TS	1.337	± 0.126	c	0.600	± 0.020	b	1.400	± 0.265	c
JA	0.832	± 0.073	b	0.822	± 0.058	bc	3.214	± 0.099	f
JK	1.642	± 0.035	d	1.903	± 0.011	d	2.538	± 0.154	e
A	0.612	± 0.084	ab	0.703	± 0.031	b	5.533	± 1.021	h
K	3.214	± 0.090	f	2.665	± 0.048	e	1.856	± 0.027	d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\* Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 56

Pada inkubasi ke-56 hari menunjukkan perbedaan kadar Mg pada setiap jenis tanah dengan aplikasi biochar dan pupuk organik. Kadar Mg tertinggi pada Entisol dan Inseptisol dari perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang sedangkan pada Litosol dari perlakuan biochar jenkok yang dicampur kompos. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 77.

Tabel 76. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g-1)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.274	± 0.030	a	0.210	± 0.020	a	0.274	± 0.030	a
S	0.257	± 0.012	a	0.498	± 0.016	c <sub>6</sub>	0.945	± 0.005	b
T	0.768	± 0.042	c	0.320	± 0.010	b	1.363	± 0.015	d
J	0.827	± 0.040	d	0.437	± 0.006	c	1.154	± 0.005	c
SA	2.059	± 0.038	i	0.640	± 0.010	d	11.060	± 0.036	j
SK	0.309	± 0.009	a	0.837	± 0.068	ef	7.204	± 0.090	h
TA	0.907	± 0.021	e	0.808	± 0.022	e	1.836	± 0.041	f
TS	0.720	± 0.026	c	0.789	± 0.020	e	1.623	± 0.020	e
JA	0.643	± 0.021	b	0.907	± 0.015	g	2.491	± 0.010	g
JK	1.899	± 0.050	h	0.980	± 0.010	h	5.296	± 0.005	i
A	1.233	± 0.042	g	0.881	± 0.016	fg	0.907	± 0.015	b
K	1.067	± 0.031	f	0.696	± 0.041	d	1.374	± 0.015	d

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

#### Hari 98

Di akhir pengamatan (98 hari), kadar Mg tertinggi pada Entisol dari perlakuan biochar sekam dan pada tanah Inseptisol dari perlakuan biochar sekam yang dicampur dengan pupuk kandang. Kadar Mg tertinggi pada Litosol dari perlakuan pupuk kandang yang dicampur dengan biochar sekam maupun biochar jengkok dan juga pemberian kompos.

Secara umum kadar Mg memiliki kecenderungan meningkat pada awal inkubasi (7 hari), selanjutnya kadar Mg bisa meningkat atau menurun hingga akhir pengamatan (Tabel 78).

Tabel 77. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g-1)								
	Entisol			Litosol			Inseptisol		
Kontrol	0.299	± 0.012	a	0.347	± 0.025	ab	0.274	± 0.030	a
S	3.736	± 0.210	e	0.200	± 0.010	a	2.067	± 0.055	d
T	0.149	± 0.017	a	0.330	± 0.010	ab	4.995	± 0.014	i
J	0.633	± 0.075	b	0.957	± 0.038	de	3.089	± 0.029	f
SA	0.239	± 0.113	a	1.331	± 0.053	f	5.359	± 0.145	j
SK	0.307	± 0.088	ab	0.753	± 0.085	cd	4.906	± 0.105	i
TA	1.437	± 0.055	d	1.093	± 0.179	e	4.554	± 0.397	h
TS	1.522	± 0.109	d	0.373	± 0.012	ab	3.504	± 0.352	g
JA	0.305	± 0.100	a	1.430	± 0.056	f	1.131	± 0.138	c
JK	1.067	± 0.050	c	0.127	± 0.021	a	2.878	± 0.158	e
A	0.100	± 0.010	a	0.552	± 0.069	bc	2.068	± 0.224	d
K	1.468	± 0.048	d	1.553	± 0.049	f	1.073	± 0.032	b

\*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. \*\*Uji DMRT dengan  $\alpha=5\%$

## BAB VI. PENUTUP

45

Penerapan biochar berbagai jenis dan perimbangan pupuk N, P, K menunjukkan pengaruh yang baik terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada lahan kering yang terdegradasi. Aplikasi biochar kayu menunjukkan tinggi tanaman, indeks luas daun, berat akar dan biomassa tanaman jagung yang paling rendah dibandingkan biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda apalagi dengan hanya menambah pupuk P dan K. Aplikasi biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda yang menggunakan pupuk dasar NPK menghasilkan biomassa tanaman yang tidak berbeda dengan menambahkan pupuk susulan N saja ataupun NK pada tanaman jagung di lahan yang sedang mengalami degradasi. Biomassa tanaman jagung berkurang 5-8% jika menggunakan biochar sekam padi dan tempurung kelapa muda tanpa pupuk susulan N dan K maupun dengan pupuk susulan N saja atau NK.

Target hasil jagung 8 t ha<sup>-1</sup> dicapai dengan biochar sekam padi atau tempurung kelapa muda yang hanya ditambah pupuk dasar NPK pada tanah yang sedang mengalami degradasi. Penggunaan biochar sekam padi atau tempurung kelapa muda dan pupuk dasar NPK telah mengurangi serapan NPK dan biomassa tanaman jagung tetapi tidak mempengaruhi hasil jagung pipilan kering. Aplikasi biochar sekam padi, tempurung kelapa muda, dan kayu ke dalam tanah terdegradasi dapat meningkatkan kandungan hara NPK total dan tersedia kecuali nitrat dan P total (khususnya biochar sekam dan kayu) setelah 7 hst. Jenis biochar tidak berpengaruh nyata terhadap kadar amonium tetapi berpengaruh nyata terhadap kadar N total dan nitrat di dalam tanah. Biochar sekam padi menghasilkan kadar nitrat tertinggi dan terendah pada biochar kayu. Ada interaksi antara jenis biochar dan perimbangan pupuk pada kadar P total, tetapi jenis biochar maupun perimbangan pupuk tidak berpengaruh nyata pada kadar P tersedia di dalam tanah. Penggunaan dosis 110 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> menghasilkan kadar K tersedia dan K total yang tidak berbeda dengan 37 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>.

Penggunaan biochar-pupuk organik secara tunggal maupun campuran menunjukkan perubahan sifat fisik dan kimia yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia tanah pada berbagai umur pengamatan.

6

Kenaikan awal bahan organik tanah pasir berlempung terjadi pada hari ke-14 sedangkan pada tanah liat pada hari ke-7, yakni dari 0,7% menjadi 2,5% (regosol) dan dari 1,6% menjadi 3,9% (litosol) dan dari 1,1% menjadi 2,0% (mediteran). Bahan organik tanah regosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau pada hari ke-14 sampai ke-56, selanjutnya dari campuran biochar tongkol jagung dan kompos



pada hari ke-98. Bahan organik tanah litosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau, biochar tongkol jagung, maupun campuran biochar jengkok dan kompos pada waktu-waktu tertentu. Bahan organik tanah mediteran tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau maupun biochar tongkol jagung dari waktu ke waktu.

Inkubasi 7 hari terbaik untuk meningkatkan nilai KTK dari ketiga tanah. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan nilai KTK tanah litosol. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan kompos terbaik untuk meningkatkan nilai KTK mediteran. Penggunaan biochar jengkok dan biochar tongkol secara tunggal dan biochar sekam padi yang dicampur pupuk kandang ayam yang terbaik untuk meningkatkan KTK pada tanah regosol.

Kadar K yang tertinggi pada biochar jengkok belum tentu memberikan kontribusi kalium yang terbanyak pada suatu jenis tanah pada suatu waktu. Biochar jengkok akan meningkatkan kadar kalium tanah terbesar pada litosol (7 hari), regosol (14-56 hari). Kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik. Campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya. Peningkatan kadar N tanah regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Peningkatan kadar N tanah mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya. Pada awal inkubasi, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (regosol) dan 23,3 kali lipat (mediteran). Berbeda pada litosol, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol). Kadar P tertinggi pada mediteran dari perlakuan pupuk kandang selama 98 hari regosol berlangsung hingga 56 hari, sedangkan mediteran berlangsung pada 14 hingga 56 hari. Pada 14 hari inkubasi, pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah.

Biochar sekam padi tertinggi untuk menurunkan bobot isi tanah dan meningkatkan porositas tanah regosol. Kombinasi biochar dengan pupuk organik maupun hanya pupuk kandang ayam lebih baik daripada hanya dengan biochar untuk menurunkan bobot isi tanah litosol. Biochar tongkol, kombinasi biochar sekam dengan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar jengkok dengan kompos, serta pupuk kandang ayam menurunkan bobot isi tanah mediteran yang sama. Biochar sekam terendah untuk menurunkan bobot isi tanah regosol. Penurunan bobot isi tanah litosol dari kombinasi biochar dan pupuk organik lebih besar daripada hanya menerapkan biochar, berturut-turut 16% dan 7%. Pada tanah mediteran, semua perlakuan menurunkan bobot isi tanah sebesar 17-26%.

Bobot partikel tanah dapat ditingkatkan dengan pemberian kombinasi biochar dan pupuk kandang ayam. Jenis biochar yang digunakan akan menentukan kenaikan bobot partikel dari ketiga jenis tanah. Semua perlakuan yang diterapkan belum cukup signifikan menurunkan bobot partikel dan porositas tanah regosol. Bobot partikel tanah litosol tertinggi jika pupuk kandang ayam dikombinasi dengan biochar tongkol jagung ataupun dengan biochar jengkok. Bobot partikel tanah mediteran tertinggi dari kombinasi biochar jengkok dengan pupuk kandang ayam.

Penurunan porositas tanah regosol terbaik dengan pupuk kandang ayam. Kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang ayam meningkatkan porositas tanah litosol terbesar (14%) sedangkan kombinasi biochar jengkok dengan kompos meningkatkan porositas tanah mediteran tertinggi (21%). Pori makro meningkat hampir 3 kali lipat dengan biochar jengkok yang dikombinasi kompos pada mediteran. Pori makro meningkat 21-24% jika menggunakan kombinasi pupuk kandang ayam dengan biochar sekam ataupun biochar tongkol pada litosol. Akan tetapi pori makro menurun 21% hanya dengan pupuk kandang ayam pada regosol. Penurunan pori meso pada tanah liat ditentukan oleh jenis biochar maupun kombinasinya dengan pupuk organik. Penurunan pori meso tertinggi diperoleh pada perlakuan biochar jengkok pada tanah litosol dan biochar sekam dan tongkol pada tanah mediteran. Jenis biochar menentukan perubahan pori meso pada tanah liat. Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada litosol. Penggunaan biochar dan pupuk organik pada tanah berpasir dapat meningkatkan pori meso sebesar 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4%. Penggunaan biochar dan pupuk organik belum mampu meningkatkan pori mikro pada tanah regosol. Penurunan pori mikro terbesar sebesar 25% dari perlakuan kombinasi biochar jengkok dengan kompos serta pupuk kandang ayam pada tanah mediteran. Pori mikro berkurang 12% dari perlakuan kombinasi biochar sekam padi dengan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang ayam, dan kombinasi biochar jengkok dengan kompos pada tanah litosol. Penggunaan kombinasi biochar jengkok dan kompos maupun yang hanya menggunakan pupuk kandang ayam menurunkan pori mikro sebesar 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1% pada mediteran.

## INDEKS

### A

Abrasi, 38  
 Adsorpsi, 1, 3, 24, 28, 33, 38, 40, 42, 43, 47, 48, 53, 73, 90, 95, 96, 109,  
 Adsorben, 48  
 Aerasi, 13, 19, 39, 99, 107, 120  
 Afinitas, 83, 98, 111, 112  
 Agregat 13, 46, 64, 94, 99, 106,  
 Aldehida, 47  
 Alkohol, 47  
 Alley cropping, 57  
 Amonia, 9, 29, 54  
 Amonium, 9, 14, 50, 71, 90, 94, 95, 140  
 Amorf, 28  
 Anaerob, 13  
 Anorganik, 1, 2, 5, 11, 12, 13, 27, 29, 36, 37, 41, 42, 50, 68, 69, 70, 72, 73, 80, 88, 90, 111, 114, 115, 151  
 Apatit, 12  
 Asam amino, 74, 78, 85  
 Asam nukleat, 12  
 Asimilasi, 5, 8

### B

Biogeokimia, 28  
 Biomassa, 2, 3, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 37, 39, 44, 48, 52, 80,  
 Biokimia, 47, 67  
 Bulk density, 24, 32, 33, 34, 40, 99, 100, 101,

### D

Decolourization, 40  
 Defisiensi, 11, 13, 79, 85, 112,  
 Dehydroxylasi, 25

Denitrifikasi, 6, 7, 9, 10, 88, 95  
 Difusi, 13, 16, 17, 18  
 Drainase 6, 7, 19, 46

### E

Efisiensi, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 15, 29, 44, 48, 49, 55, 67, 69, 73  
 Elektrostatis, 53

### F

Felspar, 16  
 Fertigasi, 10  
 Fiksasi, 18, 20, 41, 54, 58, 73, 74, 101  
 Fluorapatit, 12  
 Fosfolipida, 12

### G

Genotipe, 8  
 Genetik, 8  
 Graphene, 28

### H

Habitat, 37, 41, 42, 43, 45, 46  
 Hibrida, 11  
 Hidroksiapatit, 12

### I

Ilit, 16,  
 Imobilisasi, 9, 15, 41, 50, 51, 55  
 Infiltrasi, 38, 41, 122  
 Inkubasi, 5, 10, 11, 12, 35, 40, 45, 50, 66  
 Interaksi, 6, 8, 33, 41, 45, 46, 47, 54, 55  
 Irigasi, 8, 9, 10, 24, 52, 59

Dekomposisi, 3, 13, 26, 27, 28, 37, 44  
Kation, 20, 25, 30, 35, 40, 44, 46, 56  
Karbonisasi, 29, 37, 45  
Kekahatan, 11, 61  
Kelengasan, 6, 7, 9, 10, 13, 19  
Kerentanan, 7  
Kimiawi, 7, 72  
Klorapatit, 12  
Kultivar, 8, 11, 184  
Konsentrasi, 4, 7, 10, 12, 17, 23, 25

#### **L**

Legume, 4  
Lengas, 5, 7, 11, 13, 15, 17, 57

#### **M**

Massa, 7, 16, 37  
Metabolisme, 7, 44, 45, 47, 79  
Mineralisasi, 4, 5, 6, 10, 13, 25, 43  
Modifikasi, 8, 48, 56, 121, 138  
Mobil, 5, 11, 14

#### **N**

Nukleat, 12

#### **O**

Oksidasi, 18, 28, 54, 76, 111, 114  
Oksidatif, 13  
Organik, 13, 15, 18, 22, 26, 35, 59, 112  
Ortofosfat, 10

#### **P**

Pencucian, 6, 7, 30, 45, 49, 56, 60, 113  
Perkolasi, 5, 6, 19, 122,  
Pelindian, 9, 10, 17, 20, 114  
Pirolisis, 53, 54, 70, 80, 100, 111, 115  
Porositas, 3, 24, 25, 31, 33, 37, 40, 42,  
98, 99, 104, 105, 163, 164,

#### **K**

Kalorit, 16

#### **R**

Redistribusi, 8  
Retensi, 2, 3, 24, 25, 33, 38, 53, 56, 100,  
101, 105, 109, 110, 111, 113, 114, 120  
Resisten, 28, 45, 64  
Rikalsium, 12  
Rotasi, 7

#### **S**

Sedimen , 12, 60, 62, 63, 75,  
Senyawa, 6, 12, 13, 14, 29, 34, 37, 47,  
51, 54, 95, 111  
Selulosa , 25, 37, 53, 54  
strip cropping, 57  
Spesies, 10, 11, 17, 31, 55

#### **T**

Tekstur, 7, 9, 14, 17, 28, 39, 55, 62, 63,  
64, 65, 82, 100, 101  
Terimobilisasi, 9  
Translokasi, 8, 11, 13, 81  
Topografi, 29, 62

#### **V**

Varietas, 8, 71, 187  
Vaskular, 31  
Vermikulit, 16, 18  
Volatile, 47  
Volatilisasi, 6, 9, 29



Potensial, 1, 8, 15, 18, 30, 59, 60, 110

## GLOSARIUM

52

**Aerasi** suatu proses penambahan udara/ oksigen dalam air dengan membawa beberapa air dan udara ke dalam kontak yang terdekat dengan cara menyemprotkan air ke udara atau air ke dalam udara atau dengan memberikan gelembung halus udara dan membiarkannya naik melalui air.

**Biochar** Bahan padat kaya karbon hasil konversi dari limbah organik atau biomassa pertanian dimana melalui proses pembakaran yang tidak sempurna atau suplai dari oksigen terbatas (pyrolysis).

**Biomassa** (biomass) bahan padat yang diproduksi oleh suatu organisme hidup atau kumpulan organisme, tumbuhan atau hewan dimana biomassa ini bermaksud sebagai spesies tanaman tahunan dan biomassa perenial pada spesies tanaman perenial.

**Budidaya** menanam satu jenis tanaman yang sama pada lahan yang sama secara berulang-ulang.

**Campuran** Materi yang tersusun dari beberapa materi penyusun, masih dapat dipisahkan dengan reaksi kimia

**Ekologi** (ecology) ilmu pengetahuan tentang hubungan antara organisme dan lingkungan

141

**Ekosistem** (ecosystem) kumpulan dari tumbuhan dan hewan (termasuk manusia) yang hidup di eilayah dan lingkungan fisik serta kimia mereka baik ait, udara, dan tanah dimana terdapat interaksi antara mereka dengan lingkungannya.

**Erosi** (erosion) musnah atau bilangnya bagian-bagian dimana dari sebuah sistem karena memiliki pengaruh dari luar, contohnya erosi tanah karena adanya air ataupun angin

**Gulma** (weed) tumbuhan yang tidak dikehendaki oleh manusia dan mengganggu ekosistem

**Habitat** Lingkungan dimana suatu tumbuhan maupun hewan yang hidup dan memberikan timbal balik terhadap kebutuhan khusus.

**Herbisida** (herbicide) jenis pestisida yang mampu mengurangi maupun menghancurkan efek dari perkembangbiakan gulma

**Hortikultura** (Horticulture) ilmu pengetahuan atau estetika berkebun yakni membudidayakan sayuran, bunga maupun buah-buahan.

**Humus** Produk akhir dari proses rangkaian pembusukan dari bahan organik yang bermanfaat untuk memperbaiki sifat fisik tanah seperti struktur tanah, mampu menyediakan nutrisi bagi tumbuhan serta mampu meningkatkan kinerja dari kapasitas tanah dalam menjaga unsur hara dan air.

**Input** Disini menunjukkan adanya masukan pertanian , yakni unsur-unsur yang ditambahkan oleh manusia ke dalam sumber daya pertanian untuk mempengaruhi

suatu produktivitas, kelangsungan atau stabilitas. Input pertanian yang paling penting merupakan energi, air, nutrisi benih, bahan kimia dan beberapa alat pertanian.

**Keanekaragaman** (diversity) jumlah berbagai macam jenis spesies, organisme, kultivar dan atau unsur fisik per wilayah

**Keberlanjutan** (continuity) Daya dukung sistem pertanian dalam melestarikan sumber daya alam, keuangan dan manusia untuk menjamin sebuah keberlanjutan

**Ketahanan** (resistance) Kemampuan suatu organisme hidup untuk tetap bertahan dari gangguan selama proses kehidupan yang disediakan oleh pestisida, penyakit, kekeringan dan sebagaimana yang terbiasa akan menyebabkan kematian dari beberapa organisme sejenis lainnya.

**Koloid** Campuran homogen yang terdiri dari partikel terdispersi dan pendispersi. Tidak ada pengendapan.

**Larutan** campuran homogen dua komponen atau lebih yang terdiri dari beberapa partikel yang terdiri dari zat terlarut yang bisa disebut dengan solute dan zat pelarut atau bisa disebut solvent.

**Lembab** (humid) suatu iklim di mana curah hujan ini mampu melampaui potensi dari penguapan selama beberapa waktu dalam satu tahun dimana disini mengacu pada daerah tropis yang mendapatkan curah hujan tahunan > 1500 mm.

**Lingkungan** (environment) Keadaan sekitar, termasuk air, tanah, udara dan beberapa banyak organisme hidup serta bagaimana hubungan antara mereka.

**Massa** Suatu sifat fisika dari sebuah benda yang dapat digunakan untuk menjelaskan bagaimana tindak laku sebuah objek yang terpantau

**Unsur hara** (nutrient) Sumber nutrisi atau makanan yang dibutuhkan tumbuhan baik dalam yang tersedia di alam seperti unsur organik maupun yang sengaja ditambahkan seperti halnya makhluk hidup lain dimana tumbuhan membutuhkan nutrisi yang lengkap dalam keberlanjutan pertumbuhannya.

**Pirolisis** Dekomposisi termokimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau pereaksi kimia lainnya, dimana material mentah akan mengalami beberapa pemecahan struktur kimia menjadi gas.

**Senyawa** Materi yang tersusun dari dua unsur atau lebih

**Senyawa anorganik** Senyawa yang tidak memiliki rantai karbon yang panjang dalam letak struktur dasarnya

**Sistem** bagian tertentu dari alam yang menjadi pusat perhatian atau yang selalu dipelajari

**Temperatur** Derajat atau tingkatan dingin panasnya suatu benda



**Dr. Ir. Widowati, MP** lahir di Manokwari, 24 Agustus 1965. Widowati berhasil menyelesaikan pendidikan Sarjana di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya tahun 1989. Gelar Master berhasil dicapai pada tahun 1994 di Universitas Brawijaya dalam bidang Ilmu Tanaman. Pada tahun 2011 berhasil menyelesaikan pendidikan Doktor dalam bidang Ilmu Pertanian.

Status sebagai dosen PNS dpk di Lembaga Layanan Dikti Wilayah VII Surabaya sejak 1993. Saat ini menduduki jabatan sebagai Wakil Rektor I di Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang, dengan jabatan akademik terakhir yaitu Lektor Kepala. Selain kegiatan mengajar, juga aktif melaksanakan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan penelitian diantaranya dengan judul Penggunaan Biochar Sampah Organik sebagai Pupuk Kalium pada Pertumbuhan dan Hasil Jagung (2012 – 2013), Upaya Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Aplikasi Biochar dan Perimbangan Pupuk N, P, K pada Hasil Tanaman Jagung (2014 - 2016), Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering (2017 - 2019), semuanya didanai oleh Kemenristek Dikti. Penelitian lain kerjasama dengan PT. Gudang Garam, Tbk dan UNITRI adalah Pemanfaatan Biochar Jengkok Tembakau-Cengkeh sebagai Alternatif Sumber Hara Kalium pada Beberapa Jenis Tanah (2016) dan Pemanfaatan Residu Biochar dan Pemangkasan pada Tanaman Tomat (2018).

Wujud pengabdian kepada masyarakat, antara lain **109** **Ibm Pengrajin Bata Merah Berbahan Baku Sedimen Bendungan Sengguruh** (2016), PKM Perbaikan Lahan Kritis Milik Petani Sekitar Wilayah Magersari Melalui Aplikasi Biochar di Desa Jetak, Kecamatan Montong, Kabupaten Tuban (2017). Sejak tahun 1997 hingga sekarang aktif menjadi Guru Sekolah Minggu di GPdI Gloria Malang. Sejak tahun 2012 hingga sekarang menjadi sekretaris di organisasi Asosiasi Biochar Indonesia.

Karya ilmiah berupa buku dengan judul **Perbaikan Tanah Terdegradasi Dengan Biochar pada Tanaman Jagung** (2017) dan **Prinsip-Prinsip Agronomi dengan Hasil-Hasil Penelitian di Indonesia** (2018). Ada tiga Paten yang telah dihasilkan dengan judul **Proses Pembuatan Biochar Sampah Organik, Pembuatan Biochar Sekam Padi untuk Mengurangi Kehilangan Hara Melalui Pencucian, dan Komposisi Biochar Tongkol Jagung dan Metode Pembuatannya**.

Selain itu juga mengikuti beberapa seminar sebagai pemakalah di seminar nasional. Beberapa karya ilmiah telah dipublikasi di jurnal nasional maupun internasional. Penghargaan yang telah dihasilkan yaitu Satya Lencana Karya Satya (20 tahun) dan Penyaji poster terbaik pada seminar hasil program riset terapan yang diberikan oleh Kemenristek Dikti.





**Sutoyo, SP., MP.** lahir di Sidoarjo, 2 Juli 1960. Sutoyo menyelesaikan studi Sarjana Pertanian di Sekolah Tinggi Pertanian Tribhuwana Malang selesai pada tahun 2001 dan dilanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi yaitu Magister Pertanian di Universitas Brawijaya dalam bidang Ilmu Tanaman tahun 1999.

Sejak tahun 2001 telah ditempatkan sebagai dosen PNS dpk pada Lembaga Layanan Dikti Wilayah VII Surabaya di Fakultas Pertanian dengan tugas jabatan struktural sebagai

Kepala Bagian Kajian Pengembangan Kurikulum dan Pembelajaran dengan jabatan akademik Lektor Kepala.

12

Penelitian yang didanai oleh DRPM Dikti yaitu Penggunaan Biochar Sampah Organik sebagai Pupuk Kalium pada Pertumbuhan dan Hasil Jagung (2012 – 2013), Upaya Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Aplikasi Biochar dan Perimbangan Pupuk N, P, K pada Hasil Tanaman Jagung (2014 - 2016), Desain Taman Menggunakan Konsep Healing Garden sebagai Sarana Penyembuhan Penderitaan Gangguan Jiwa (2016), Karakteristik Biochar- Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering (2017 - 2019). Publikasi karya ilmiah telah dilakukan di beberapa jurnal ilmiah nasional dan internasional.

Kegiatan tridharma lainnya yaitu menjadi narasumber dalam acara dialog pedesaan dengan tema Kesehatan Lansia On Air Radio Republik Indonesia (2016), Pemanfaatan Ekstrak Daun Sirsat, Tembakau dan Laor sebagai Pestisida Nabati (2018) dan Budidaya Sayuran Cesa Hidroponik dan Pembuatan Pestisida Nabati dan Aplikasinya pada Tanaman. Penghargaan yang diterima dari Presiden Republik Indonesia berupa penghargaan Satya Lancana Karya Satya sejak tahun 2008 hingga 2016.



**Hidayati Karamina, SP., SH., MP.** dilahirkan di Malang 4 Januari 1991. Hidayati menempuh pendidikan Sarjana Pertanian Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Tahun 2012 dan Sarjana Hukum di Fakultas Hukum Universitas Islam Malang Tahun 2013. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang pendidikan Magister Pertanian di Jurusan Ilmu Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Sebagai seorang pengajar dengan jabatan akademik Asisten Ahli di Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggaladewi. Hidayati tidak melupakan kewajiban tridharma sebagai seorang dosen yaitu melakukan kegiatan penelitian. Kegiatan penelitian Hidayati pertama kali yaitu penelitian dosen pemula yang didanai oleh Kemristek Dikti dengan judul Analisis Kandungan Logam Berat pada Buah Jambu Biji Kristal (*psidium guajava* L.) dan Tanah di Perkebunan Desa Bumiaji, Kota Batu (2017). Sedangkan dua penelitian lain dilaksanakan dengan PT. Gudang Garam Tbk dan Unitri yaitu Pemanfaatan Biochar Jengkok Tembakau-Cengkeh sebagai Alternatif Sumber Hara Kalium pada Beberapa Jenis Tanah (2016) dan Pemanfaatan Residu Biochar pada Tanaman Tomat di Beberapa Jenis Tanah (2018). Selain itu Hidayati melaksanakan pengabdian masyarakat secara mandiri tahun 2018 dan menerima dana dari Kemristek Dikti dengan judul PKM Pertanian Organik di Kelompok Tani "Tani Mulya" dan "Rukun Damai" Desa Tawangargo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur.

12

Karya ilmiah yang dikeluarkan oleh Hidayati berupa buku berjudul Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Biochar pada Tanaman Jagung (2017). Penulis juga aktif dalam mengikuti kegiatan seminar nasional seperti di UPN Veteran Yogyakarta yaitu Seminar Nasional Pembangunan Pertanian Indonesia dalam Memperkuat Lumbung Pangan, Fundamental Ekonomi dan Daya Saing Global (2018). Beberapa karya ilmiah lain adalah jurnal internasional dengan judul The Soil Organic Dynamics from Types Biochar-Organic Fertilizers and Soil (International Conference on Organic Agriculture in the Tropics: State of the Art, Challenges and Opportunities 2018), jurnal nasional terakreditasi dengan judul Kompleksitas Pengaruh Temperatur dan Kelembaban Tanah Terhadap Nilai pH Tanah di Perkebunan Jambu Biji Varietas Kristal (*Psidium guajava* L.) Bumiaji, Kota Batu (2017) dan Analisis Kandungan Logam Berat Aluminium (Al), dan Timbal (Pb) pada Buah Jambu Biji Varietas Kristal (*Psidium guajava* L.) dan Tanah di Desa Bumiaji, Kota Batu (2018) serta jurnal nasional ber ISSN dengan judul Pemberdayaan Kelompok Tani Mulya dan Rukun Damai dalam Mendukung Terwujudnya Tawangargo Desa Organik (2018).

# Penggunaan Biochar di Lahan Kering

## ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://www.isisn.org">www.isisn.org</a> Internet Source	1%
2	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	1%
3	<a href="http://biodiversitas.mipa.uns.ac.id">biodiversitas.mipa.uns.ac.id</a> Internet Source	1%
4	<a href="http://id.scribd.com">id.scribd.com</a> Internet Source	1%
5	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Internet Source	1%
6	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://docobook.com">docobook.com</a> Internet Source	1%
8	<a href="http://media.neliti.com">media.neliti.com</a> Internet Source	1%
9	<a href="http://id.123dok.com">id.123dok.com</a> Internet Source	<1%
10	<a href="http://jurnal.unitri.ac.id">jurnal.unitri.ac.id</a> Internet Source	<1%

11	<a href="http://cropagro.unram.ac.id">cropagro.unram.ac.id</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="http://sinta3.ristekdikti.go.id">sinta3.ristekdikti.go.id</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="http://ilmugeografi.com">ilmugeografi.com</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="http://zadoco.site">zadoco.site</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="http://repository.usu.ac.id">repository.usu.ac.id</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://www.pps.unud.ac.id">www.pps.unud.ac.id</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://komunitaspetanioplosan.blogspot.com">komunitaspetanioplosan.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
18	<a href="http://ejournal.unkhair.ac.id">ejournal.unkhair.ac.id</a> Internet Source	<1 %
19	Submitted to University of Birmingham Student Paper	<1 %
20	<a href="http://www.readbag.com">www.readbag.com</a> Internet Source	<1 %
21	<a href="http://vdocuments.site">vdocuments.site</a> Internet Source	<1 %
22	<a href="http://www.pustekolah.org">www.pustekolah.org</a> Internet Source	<1 %



23	<a href="https://ecommons.usask.ca">ecommons.usask.ca</a> Internet Source	<1 %
24	<a href="#">Submitted to Universitas Jenderal Soedirman</a> Student Paper	<1 %
25	<a href="http://jalutommy.blogspot.com">jalutommy.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
26	<a href="http://docplayer.info">docplayer.info</a> Internet Source	<1 %
27	<a href="http://fr.scribd.com">fr.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
28	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
29	<a href="http://alafwa1991.blogspot.com">alafwa1991.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
30	<a href="http://sarwantlegos.blogspot.com">sarwantlegos.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
31	<a href="http://faiezblo.blogspot.com">faiezblo.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
32	<a href="http://semirata2016.fp.unimal.ac.id">semirata2016.fp.unimal.ac.id</a> Internet Source	<1 %
33	<a href="http://ainfo.cnptia.embrapa.br">ainfo.cnptia.embrapa.br</a> Internet Source	<1 %
34	<a href="http://blog.ub.ac.id">blog.ub.ac.id</a> Internet Source	<1 %

35

Internet Source

&lt;1 %

36

[new.litbang.pertanian.go.id](http://new.litbang.pertanian.go.id)

Internet Source

&lt;1 %

37

[maglovthes.blogspot.com](http://maglovthes.blogspot.com)

Internet Source

&lt;1 %

38

Indah Nurul Safitri, Tri Candra Setiawati, Cahyadi Bowo. "BIOCHAR DAN KOMPOS UNTUK PENINGKATAN SIFAT FISIKA TANAH DAN EFISIENSI PENGGUNAAN AIR", TECHNO: JURNAL PENELITIAN, 2018

Publication

&lt;1 %

39

[hortsci.ashspublications.org](http://hortsci.ashspublications.org)

Internet Source

&lt;1 %

40

[anzdoc.com](http://anzdoc.com)

Internet Source

&lt;1 %

41

[www.build-a-gasifier.com](http://www.build-a-gasifier.com)

Internet Source

&lt;1 %

42

Agung Putra Hidayat, Damris Damris. "Pengaruh Penambahan Biochar dari Batubara Lignite pada Tanah Bekas Penambangan Batubara Terhadap Konsentrasi Logam Kadmium (Cd) Terlarut Menggunakan Kolom Fixed Bed Sorpsion", Jurnal Engineering, 2019

Publication

&lt;1 %

43

[jpt.ub.ac.id](http://jpt.ub.ac.id)

&lt;1 %

44

[jurnal.untad.ac.id](http://jurnal.untad.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

45

[journal.unpad.ac.id](http://journal.unpad.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

46

[forest.moscowfsl.wsu.edu](http://forest.moscowfsl.wsu.edu)

Internet Source

&lt;1 %

47

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

&lt;1 %

48

[www.distankp.tegalkab.go.id](http://www.distankp.tegalkab.go.id)

Internet Source

&lt;1 %

49

[m.covesia.com](http://m.covesia.com)

Internet Source

&lt;1 %

50

[repository.ung.ac.id](http://repository.ung.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

51

[eprints.ulm.ac.id](http://eprints.ulm.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

52

[gilakoi.com](http://gilakoi.com)

Internet Source

&lt;1 %

53

[eprints.undip.ac.id](http://eprints.undip.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

54

[prodipps.unsyiah.ac.id](http://prodipps.unsyiah.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

55

[lanskap.unitri.ac.id](http://lanskap.unitri.ac.id)

<1 %

56

[lppm.unsika.ac.id](http://lppm.unsika.ac.id)

Internet Source

<1 %

57

Submitted to Syiah Kuala University

Student Paper

<1 %

58

[etheses.uin-malang.ac.id](http://etheses.uin-malang.ac.id)

Internet Source

<1 %

59

Submitted to UIN Sunan Gunung Djati  
Bandung

Student Paper

<1 %

60

[jurnal.uma.ac.id](http://jurnal.uma.ac.id)

Internet Source

<1 %

61

[setiyaningsihblog.wordpress.com](http://setiyaningsihblog.wordpress.com)

Internet Source

<1 %

62

Submitted to Universitas Sebelas Maret

Student Paper

<1 %

63

Dicky Chandra, Irwan Sukri Banuwa, Nur Afni Afrianti, Afandi Afandi. "PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN PEMBERIAN HERBISIDA TERHADAP KEHILANGAN UNSUR HARA DAN BAHAN ORGANIK AKIBAT EROSI PADA PERTANAMAN JAGUNG MUSIM TANAM KETIGA DI LABORATORIUM LAPANG TERPADU UNIVERSITAS LAMPUNG", Jurnal Agrotek Tropika, 2018

<1 %



64

Submitted to Universitas Riau

Student Paper

<1 %

65

Yenni Asbur, Rahmi Dwi Handayani Rambe, Yayuk Purwaningrum, Dedi Kusbianoro. "POTENSI BEBERAPA GULMA SEBAGAI TANAMAN PENUTUP TANAH DI AREA TANAMAN KELAPA SAWIT MENGHASILKAN", Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, 2018

Publication

<1 %

66

TOKATLI1, Mehmet. "GELENEKSEL TURŞULARDAN İZOLE EDİLEN LAKTİK ASİT ", Gıda Teknolojisi Derneği, 2017.

Publication

<1 %

67

[ojs.stiperkutim.ac.id](http://ojs.stiperkutim.ac.id)

Internet Source

<1 %

68

Submitted to Universitas Samudra

Student Paper

<1 %

69

[optpentingpadakacangtanah.blogspot.com](http://optpentingpadakacangtanah.blogspot.com)

Internet Source

<1 %

70

[irfanyamin.wordpress.com](http://irfanyamin.wordpress.com)

Internet Source

<1 %

71

[ejournal.unigha.ac.id](http://ejournal.unigha.ac.id)

Internet Source

<1 %

72

[semnaslahansuboptimal.unsri.ac.id](http://semnaslahansuboptimal.unsri.ac.id)

Internet Source

<1 %

73	<a href="http://digilib.unila.ac.id">digilib.unila.ac.id</a> Internet Source	<1 %
74	Submitted to Universitas Muria Kudus Student Paper	<1 %
75	<a href="http://mitalom.com">mitalom.com</a> Internet Source	<1 %
76	Fransiskus Xaverius Mikel, Eduardus Yosef Neonbeni. "Pengaruh Jenis Biochar dan Jenis Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau ( <i>Vigna radiata</i> L.)", Savana Cendana, 2017 Publication	<1 %
77	Felix Nahak Berek, Eduardus Yosef Neonbeni. "Pengaruh Jenis Biochar dan Takaran Pupuk Kandang Sapi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau ( <i>Vigna radiata</i> L.)", Savana Cendana, 2018 Publication	<1 %
78	<a href="http://ejournal.puslitkaret.co.id">ejournal.puslitkaret.co.id</a> Internet Source	<1 %
79	<a href="http://sosek.ub.ac.id">sosek.ub.ac.id</a> Internet Source	<1 %
80	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	<1 %
81	<a href="http://nicodwiardiansyah18.blogspot.com">nicodwiardiansyah18.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %

82

Internet Source

&lt;1 %

83

[jambi.litbang.pertanian.go.id](http://jambi.litbang.pertanian.go.id)

Internet Source

&lt;1 %

84

[eprints.unsri.ac.id](http://eprints.unsri.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

85

[monicsari.blogspot.com](http://monicsari.blogspot.com)

Internet Source

&lt;1 %

86

[zh.scribd.com](http://zh.scribd.com)

Internet Source

&lt;1 %

87

[eprints.upnyk.ac.id](http://eprints.upnyk.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

88

[humairafarm.blogspot.com](http://humairafarm.blogspot.com)

Internet Source

&lt;1 %

89

Submitted to Harper Adams University  
College

Student Paper

&lt;1 %

90

Saiful Rodhian Achmad, Riko Cahya Putra.  
"RESPON TANAMAN KARET DI  
PEMBIBITAN TERHADAP PEMBERIAN  
PUPUK MAJEMUK MAGNESIUM PLUS  
MIKRO", Jurnal Penelitian Karet, 2016

Publication

&lt;1 %

91

[ugm.ac.id](http://ugm.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

92

Submitted to Udayana University

&lt;1 %

93

Ronan Van Rossem, Dominique Meekers.  
"Perceived social approval and condom use  
with casual partners among youth in urban  
Cameroon", BMC Public Health, 2011

Publication

&lt;1 %

94

ar.scribd.com

Internet Source

&lt;1 %

95

library.wur.nl

Internet Source

&lt;1 %

96

blhd.cirebonkab.go.id

Internet Source

&lt;1 %

97

Endriani Endriani, Agus Kurniawan.  
"Konservasi Tanah dan Karbon Melalui  
Pemanfaatan Biochar Pada Pertanaman  
Kedelai", Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan  
Universitas Jambi|JIITUJ|, 2018

Publication

&lt;1 %

98

abuanjeli.wordpress.com

Internet Source

&lt;1 %

99

onlinelibrary.wiley.com

Internet Source

&lt;1 %

100

ueaeprints.uea.ac.uk

Internet Source

&lt;1 %

101

Na Wei, Bin Wang, Qian-Yong Zhang, Man-  
Tian Mi, Jun-Dong Zhu, Xiao-Ping Yu, Jia-Ling

&lt;1 %



Yuan, Ka Chen, Jian Wang, Hui Chang.  
"Effects of Different Dietary Fatty Acids on the  
Fatty Acid Compositions and the Expression  
of Lipid Metabolic-Related Genes in Mammary  
Tumor Tissues of Rats", Nutrition and Cancer,  
2008

Publication

- 
- |            |   |                |
|------------|---|----------------|
| <b>102</b> | Rudolf Evendi Wonkay, Roberto I. C. O. Taolin. "Pengaruh Model Penyimpanan Benih dan Jenis Pupuk Kandang terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung ( <i>Zea mays</i> L.)", Savana Cendana, 2016 | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |   |                |

Publication

- 
- |            |                           |                |
|------------|---------------------------|----------------|
| <b>103</b> | ulfi22071996.blogspot.com | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |                           |                |

Internet Source

- 
- |            |   |                |
|------------|---|----------------|
| <b>104</b> | lingkunganpengolahansampah.blogspot.com | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |   |                |

Internet Source

- 
- |            |   |                |
|------------|---|----------------|
| <b>105</b> | Maimuna La Habi. "PENGARUH APLIKASI KOMPOS GRANUL ELA SAGU DIPERKAYA PUPUK PONSKA TERHADAP SIFAT FISIK TANAH DAN HASIL JAGUNG MANIS DI INCEPTISOL", BIOPENDIX: Jurnal Biologi, Pendidikan dan Terapan, 2015 | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |   |                |

Publication

- 
- |            |  |                |
|------------|--|----------------|
| <b>106</b> | Niken Puspita sari, Teguh Iman Santoso, Surip Mawardi. "Distribution of Soil Fertility of Smallholding Arabica Coffee Farms at Ijen-Raung Highland Areas Based on Altitude and Shade Trees", Pelita Perkebunan (a Coffee | <b>&lt;1 %</b> |
|------------|--|----------------|

---

107	<a href="http://amsarjambia.blogspot.com">amsarjambia.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
108	<a href="http://journal.ipb.ac.id">journal.ipb.ac.id</a> Internet Source	<1 %
109	<a href="http://simlitabmas.ristekdikti.go.id">simlitabmas.ristekdikti.go.id</a> Internet Source	<1 %
110	<a href="http://dede-88.blogspot.com">dede-88.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
111	Thomas, C.N.. "Effects of scrubber by-product-stabilized dairy lagoon sludge on growth and physiological responses of sunflower ( <i>Helianthus annuus</i> L.)", <i>Chemosphere</i> , 200606 Publication	<1 %
112	<a href="http://www.academia.edu">www.academia.edu</a> Internet Source	<1 %
113	<a href="http://nenytriana.files.wordpress.com">nenytriana.files.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %
114	<a href="http://onyhts.blogspot.com">onyhts.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
115	<a href="http://beritatiga.ga">beritatiga.ga</a> Internet Source	<1 %
116	<a href="http://www.ampl.or.id">www.ampl.or.id</a> Internet Source	<1 %

---

117

[www.litbang.pertanian.go.id](http://www.litbang.pertanian.go.id)

Internet Source

&lt;1 %

118

Ratna Dewi Judhaswati, Herna Octivia Damayanti. "POTENSI EKONOMI INDUSTRI PENGOLAHAN LIMBAH UDANG DI KABUPATEN PATI", Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK, 2019

Publication

&lt;1 %

119

Philip E. Shaw, Kevin L. Goodner, Manuel G. Moshonas, C.Jack Hearn. "Comparison of grapefruit hybrid fruit with parent fruit based on composition of volatile components", Scientia Horticulturae, 2001

Publication

&lt;1 %

120

Wenyao Liu. "Biomass and nutrient accumulation in montane evergreen broad-leaved forest (Lithocarpus xylocarpus type) in Ailao Mountains, SW China", Forest Ecology and Management, 20020315

Publication

&lt;1 %

121

Submitted to Padjadjaran University

Student Paper

&lt;1 %

122

Pujiyanto .. "Response of Arabica Coffee Cultivated on Andisols on Organic Matter Applications", Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal), 2013

Publication

&lt;1 %

123

Submitted to University of Durham

Student Paper

<1 %

124

Submitted to University of Hertfordshire

Student Paper

<1 %

125

geograpik.blogspot.com

Internet Source

<1 %

126

www.tribb.org

Internet Source

<1 %

127

Submitted to Cranfield University

Student Paper

<1 %

128

Eko Noviandi Ginting, Suroso Rahutomo, Edy Sigit Sutarta. "EFISIENSI SERAPAN HARA BEBERAPA JENIS PUPUK PADA BIBIT KELAPA SAWIT", Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, 2018

Publication

<1 %

129

mrchand46.blogspot.com

Internet Source

<1 %

130

eprints.stainkudus.ac.id

Internet Source

<1 %

131

Submitted to University of Wales, Bangor

Student Paper

<1 %

132

ekapratiwi4015.blogspot.com

Internet Source

<1 %

133

edoc.pub

Internet Source

<1 %



134	<a href="http://pariwarapasopati.blogspot.com">pariwarapasopati.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
135	<a href="http://mithaariany.wordpress.com">mithaariany.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %
136	<a href="http://fandicka.wordpress.com">fandicka.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %
137	<a href="http://pustaka.unpad.ac.id">pustaka.unpad.ac.id</a> Internet Source	<1 %
138	<a href="http://atp2blog.blogspot.com">atp2blog.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
139	DESMOND H. FOLEY, JOAN H. BRYAN, RICHARD C. WILKERSON. "Species- richness of the Anopheles annulipes complex (Diptera: Culicidae) revealed by tree and model-based allozyme clustering analyses", Biological Journal of the Linnean Society, 2007 Publication	<1 %
140	Submitted to University of Edinburgh Student Paper	<1 %
141	Submitted to Lambung Mangkurat University Student Paper	<1 %
142	Submitted to University of Leeds Student Paper	<1 %
143	Submitted to Harper Adams University College Student Paper	<1 %

---

---

Exclude quotes      On

Exclude matches      Off

Exclude bibliography      On

# Penggunaan Biochar di Lahan Kering

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/100

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

---

PAGE 23

---

PAGE 24

---

PAGE 25

---

PAGE 26

---

PAGE 27

---

PAGE 28

---

PAGE 29

---

PAGE 30

---

PAGE 31

---

PAGE 32

---

PAGE 33

---

PAGE 34

---

PAGE 35

---

PAGE 36

---

PAGE 37

---

PAGE 38

---

PAGE 39

---

PAGE 40

---

PAGE 41

---

PAGE 42

---

PAGE 43

---

PAGE 44

---

PAGE 45

---

PAGE 46

---

PAGE 47

---

PAGE 48

---



PAGE 49

---

PAGE 50

---

PAGE 51

---

PAGE 52

---

PAGE 53

---

PAGE 54

---

PAGE 55

---

PAGE 56

---

PAGE 57

---

PAGE 58

---

PAGE 59

---

PAGE 60

---

PAGE 61

---

PAGE 62

---

PAGE 63

---

PAGE 64

---

PAGE 65

---

PAGE 66

---

PAGE 67

---

PAGE 68

---

PAGE 69

---

PAGE 70

---

PAGE 71

---

PAGE 72

---

PAGE 73

---

PAGE 74

---

PAGE 75

---

PAGE 76

---

PAGE 77

---

PAGE 78

---

PAGE 79

---

PAGE 80

---

PAGE 81

---

PAGE 82

---

PAGE 83

---

PAGE 84

---

PAGE 85

---

PAGE 86

---

PAGE 87

---

PAGE 88

---

PAGE 89

---

PAGE 90

---

PAGE 91

---

PAGE 92

---

PAGE 93

---

PAGE 94

---

PAGE 95

---

PAGE 96

---

PAGE 97

---

PAGE 98

---

PAGE 99

---

PAGE 100

---

PAGE 101

---

PAGE 102

---

PAGE 103

---

PAGE 104

---

PAGE 105

---

PAGE 106

---

PAGE 107

---

PAGE 108

---

PAGE 109

---

PAGE 110

---

PAGE 111

---

PAGE 112

---

PAGE 113

---

PAGE 114

---

PAGE 115

---

PAGE 116

---

PAGE 117

---

PAGE 118

---

PAGE 119

---

PAGE 120

---

PAGE 121

---

PAGE 122

---

PAGE 123

---

PAGE 124

---

PAGE 125

---

PAGE 126

---

PAGE 127

---

PAGE 128

---

PAGE 129

---

PAGE 130

---

PAGE 131

---

PAGE 132

---

PAGE 133

---

PAGE 134

---

PAGE 135

---

PAGE 136

---

PAGE 137

---

PAGE 138

---

PAGE 139

---

PAGE 140

---

PAGE 141

---

PAGE 142

---

PAGE 143

---

PAGE 144

---

PAGE 145

---

PAGE 146

---

PAGE 147

---

PAGE 148

---

PAGE 149

---

PAGE 150

---

PAGE 151

---

PAGE 152

---

PAGE 153

---

PAGE 154

---

PAGE 155

---

PAGE 156

---



PAGE 157

---

PAGE 158

---

PAGE 159

---

PAGE 160

---

PAGE 161

---

PAGE 162

---

PAGE 163

---

PAGE 164

---

PAGE 165

---

PAGE 166

---

PAGE 167

---

PAGE 168

---

PAGE 169

---

PAGE 170

---

PAGE 171

---

PAGE 172

---

PAGE 173

---

PAGE 174

---

PAGE 175

---

PAGE 176

---

PAGE 177

---

PAGE 178

---

PAGE 179

---

PAGE 180

---

PAGE 181

---